

Opinnäytetyö

Janne Taskinen

**Kartongin nuutattavuus**

Työn ohjaaja: DI Arto Nikkilä  
Työn teettäjä: TAMK, laboratorio  
Tampere 2009

Opinnäytetyö                      49 sivua + 83 liitesivua  
Työn ohjaaja                      DI Arto Nikkilä  
Työn teettäjä                      TAMK laboratorio + Laboratorioinsinööri Tiina Kolari-Vuorio

Hakusanat: Nuuttaus, taivekartonki, kartonginjalostus.

Toukokuu 2009

## TIIVISTELMÄ

Kartongin nuuttausta käytetään kartonginjalostuksessa. Kartonki taipuu siihen nuutatuista urista helposti. Kartongin nuuttaaminen on mahdollistanut erilaisten ja erimuotoisten kuluttajatuotepakkausten kehittämisen.

Työssä vertailtiin eri pakkauskartonkien käyttäytymistä laboratoriomittauksissa. Tarkoitus oli todistaa, että kartongin rakenteessa tapahtuu nuuttaessa plastisia muutoksia. Nämä muutokset saavat kartongissa aikaan epäjatkuvuuskohdan, josta se taipuu hallitusti.

Nuuttiura kuitenkin heikentää kartongin rakennetta. Kartongin vetolujuus heikkenee. Kartongin taipumiseen vaadittava voima vaihtelee sen neliömassan mukaisesti. Väitteet todistettiin työn kokeellisessa osuudessa laboratoriomittauksin.

Kokeellisessa osuudessa havaittiin, että nuuttiura heikentää kartongin vetolujuutta. Kartonkiin syntyy epäjatkuvuuskohta josta se repeää vetolujuustestissä. Vetolujuus heikkenee konesuuntaan enemmän kuin poikkisuuntaan, koska kartonki venyy enemmän poikkisuuntaan ennen murtumista. Kartongin päällystäminen ei lisää merkittävästi lujuutta. Nestepakkauskartongin PE-päällystys lisää kartongin lujuutta merkittävästi. Kartongin ikääntyminen heikentää sen murtositkeyttä.

# TAMPERE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree program of Paper Technology

Janne Taskinen

Creasibility of paperboard

Final thesis

49 pages + 83 appendix pages

Thesis supervisor

Arto Nikkilä, MSc

Commissioning company  
engineer, Tiina Kolari-Vuorio

Tampere University of applied sciences + Laboratory

Keywords: Creasing, folding boxboard, converting.

May 2009

## ABSTRACT

The creasing of paperboard is commonly used converting method in the paperboard converting industry. When the creasing creates a rut on paperboard, the paperboard is easy to fold. The creasing of paperboard has enabled to make packages those have different shape and size.

Ten different paperboard grades were measured and compared in the paperlaboratory. The target of this thesis was to prove, that in structure of paperboard happens plastical changes in creasing. These changes create a discontinuation spot on paperboard. The discontinuation spot enables the paperboard to fold.

The creasing of paperboard weakens the structure of paperboard. Tensile strenght weakens. The force, that is needen to fold paperboard, changes depending on basis weight and thickness of paperboard. These arguments were proven on laboratory tests.

The laboratory tests proved that the rut of paperboard weakens the tensile strenght of paperboard. The tensile strenght of structure of paperboard weakens more on machine-direction than on cross machine-direction, because the structure of paperboard is more flexible on cross machine-direction than on machine-direction. The coating layer of paperboard does not increase tensile strength. The plastic PE-coating of liquid packaging board increases tensile strenght and other strenght properties of paperboard.

## ALKUSANAT

Haluan kiittää opinnäytetyöni aiheen valinnassa minua tukeneita, opettajiani TkT Ulla Häggblom-Ahngeria ja DI Arto Nikkilää. Artolle suuri kiitos siitä, että hän toimi omien työkiireidensä ohella tutkintotyöni valvojana. Haluan kiittää myös työssäni vaadittujen laboratorio-mittalaitteiden kunnossapidosta vastaavaa ja niiden käytössä opastanutta TAMK:n laboratorioinsinööriä Tiina Kolari-Vuoriota.

Kiitän edelleen vaimoani Maaritia, äitiäni Anitaa ja veljeäni Panua. He tukivat ja kannustivat minua opinnäytetyöni tekemisessä ja opintojen loppuun saattamisessa. Kiitos kuuluu myös hyvälle ystävälleni Esalla. Hän avusti opinnäytetyön kokeellisen osan mitattavan materiaalin hankinnassa

## SISÄLLYSLUETTELO

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO.....	5
1 JOHDANTO.....	7
2 KARTONGIN NUUTTAUKSESTA YLEISESTI.....	8
2.1 Kartongin rakenne ja sen vaikutus nuuttaamiseen.....	8
2.2 Nuuttaaminen.....	9
2.3 Nuuttaus työkalut ja välineet.....	13
3 KARTONGIN OMINAISUUDET JA NIIDEN MERKITYS.....	20
3.1 Kartongin rakenne ja sen vaikutus nuuttaukseen .....	20
3.2 Nuutattavan kartongin raaka-aineiden vaikutus .....	22
3.3 Kartongin pinnoitteet ja niiden merkitys .....	23
3.4 Ongelmat nuuttauksessa .....	25
3.5 Kartongin ja nuutin vaatimukset kotelon valmistuksessa .....	27
4 MITTAUKSISTA YLEISESTI .....	29
4.1 Käytetyt mittalaitteet .....	29
4.2 Mittalaitteiden toiminta ja mitattavat suureet .....	29
5 KOKEELLINEN OSUUS JA TAVOITTEET .....	34
5.1 Mitä kartongille tapahtuu nuutattaessa .....	34
5.2 Kokeellisessa osuudessa mitattavat suureet .....	34
5.2.1 Vetolujuus ja murtositkeys .....	35
5.2.2 Nuutattavuus ja sen mittaus .....	35
5.2.3 Kartonkilajien erot mittauksissa .....	36
5.2.4 Kone- ja poikkisuunnan vaikutus.....	36
5.2.5 Kartongin joustavuus.....	36
5.2.6 Päällistyksen vaikutus kartonkiin.....	37
5.2.7 Kartonkikoneen nopeuden vaikutus.....	37
5.2.8 Kokoonpuristuvuus .....	37
5.3 Kartonkilajit ja tuotantolaitokset .....	38
5.3.1 Mitattavat lajit .....	38
5.3.2 Testatut näytteet kuvattuina .....	39
6 MITTAUKSET .....	42
6.1 Vetolujuus.....	42
6.2 Murtositkeys .....	42
6.3 Nuutattavuus .....	42

## SISÄLLYSLUETTELO

6.4 Kokoonpuristuvuus .....	43
6.5 Takaisinjoustavuus.....	43
7 TULOSTEN ANALYSOINTI .....	43
LÄHTEET .....	47
Painetut lähteet .....	47
Sähköiset lähteet .....	48
Muut lähteet .....	48
LIITTEET .....	49
Liite 1 .....	50
Liite 2 .....	55
Liite 3 .....	57

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty TAMK:n paperilaboratorioon hankitun nuuttauspöydän käyttöönottoa varten. Tarkoituksena oli lisäksi tehdä uusille opiskelijoille laboratoriossa sijaitsevaan Lorentzen-Wettren taivutusvastusmittariin käyttöohje nuutattavuudesta.

Opinnäytetyön tarkoitus oli havainnollistaa mitä kartongille tapahtuu sitä nuutattaessa ja kuinka kartongin ominaisuudet muuttuvat nuutauksen jälkeen. Kartongissa tapahtuu merkittävimmät muutokset nuutattaessa, vetolujuudessa ja taivutusvastuksessa.

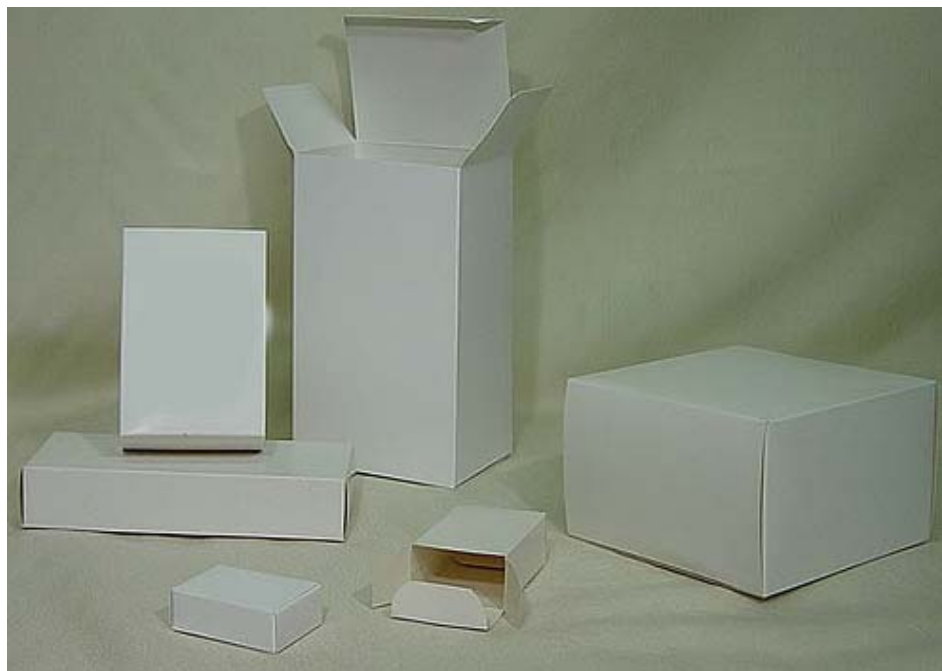
Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen ja opettavainen. Itselleni on kertynyt työkokemusta kartongin valmistuksessa ja paperituotteiden jalostuksessa.

Tutkimus nuutauksen vaikutuksesta kartongin ominaisuuksiin, oli hyvää jatkoa olemassa olevalle kokemukselle. Se auttoi entistä paremmin ymmärtämään kartongin valmistuksessa raaka-aineiden ja valmistusmenetelmien vaikutusta lopputuotteen jalostusominaisuuksiin.

## 2 Kartongin nuuttauksesta yleisesti

### 2.1 Mitä on nuuttaus

Nuuttaus on kartonginjalostuksessa, yleisimmin kotelonvalmistuksessa käytettävä menetelmä. Siinä käsiteltävänä olevaan materiaaliin, pahviin tai kartonkiin tehdään jalostuskoneen osien välissä materiaalia kokoonpuristamalla uramainen taitekohta. Syntynyttä uraa myöten painotuote on helpommin taivutettavissa haluttuun suuntaan, kuin vastaava tasapaksuinen tuote. Menetelmällä aikaan saatavaa uraa nimitetään nuuttaukseksi. Nuuttausta käytetään yleisesti koteloteollisuudessa, tuottaessa kansioita ja laatikoita. Yleisimpiä kohteita, joissa kuluttaja törmää nuuttiin, on flip-top-tyyppisen savukerasian kansi, kosmetiikkakuluttajatuotepakkauksen (kuvio 1.) tai vaikkapa makeisrasian kansi. Näissä pakkauksissa ”sarana” josta rasian kansi aukeaa, on nuuttaamalla aikaansaatu nuuttiura. Pienemmässä mittakaavassa nuuttauksen löytää esimerkiksi kutsukortista, joka on tarkoitettu taitettavaksi keskeltä. Nuuttaamista käytetään myös lasten askartelumalleja suunniteltaessa ja valmistettaessa. Niistä saadaan taiteltua esimerkiksi kartongista tehty nukke, auto tai talo (kuvio 2.).



Kuvio 1. Koteloita joissa nuuttiurasta taittavat kansi ja suojaläpät



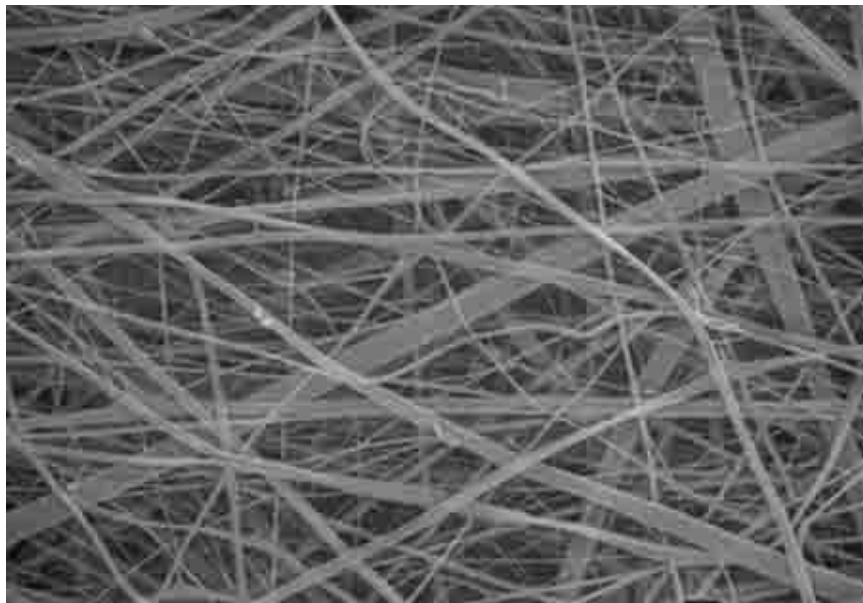


Kuvio 2. Aaltopahvista valmistettu lasten leikkitalo

## 2.2 Nuuttaaminen

Nuuttaus on pakkausteollisuudessa käytettävä menetelmä, jolla kartonkiin saadaan aikaiseksi ura. Ura syntyy kartongin joutuessa nuuttausstanssin ja kanaalin välissä puristuksiin. Puristuksessa kartonkiin syntyy plastinen muodonmuutos. Puristuksen vapautuessa kartonkiin on syntynyt nuuttaus. Nuuttaaminen onnistuu helpommin kartongin kuitusuuntaan. Tämä johtuu kartongin rakenteesta, sillä on tietynsuuntainen kuituorientaatio. Paperikoneen ja kartonkikoneen rakenne on sellainen, että massasulpun purkautuessa perälaatikolta viiralle kuidut suuntautuvat enemmän konesuuntaisesti. Puhutaan kuituorientaatiosta eli mihin suuntaan raaka-aineen kuidut hakeutuvat. Kuituorientaation hallinta on monimutkainen asia. Siihen vaikuttaa monet muuttujat koneen märässäpäässä. Orientaatio vaihtelee koneen poikkisuuntaan sekä viiran reuna-alueilla verrattuna viiran keskiosalle.

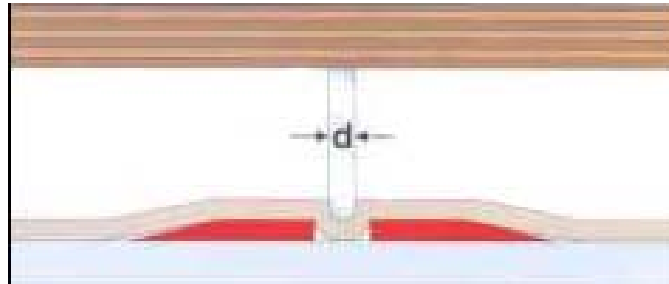
Massan purkautuminen kartonkikoneen perälaatikon huuliaukosta saa massasulpun pyörteilemään. Pyörteily muuttaa kuitujen käytöstä ja niiden suuntautumista viiralla. Massasulpun kuidut suuntautuvat paperi- tai kartonkikoneen viiraosalla pituussuuntaisesti massan levittyessä perälaatikolta viiralle. Tämän vuoksi nuuttaaminen on helpompi suorittaa ks kuitujen ollessa suuntautuneina samoin.



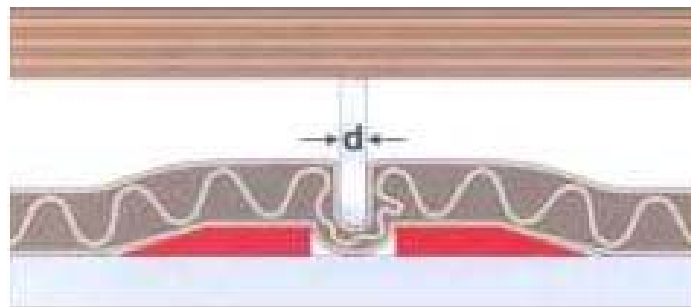
Kuvio 3. Paperin kuituorientaatio

Kuidut ovat järjestäytyneet paperissa pääsääntöisesti yhteen suuntaan. Ks on (kuviossa 3.) vaakasuoraan. Tämän erottaa siitä, että valtaosa kuiduista on suuntautunut vaakatasoon. Nuuttiura syntyy helpommin, kun nuuttistanssin ei tarvitse taittaa kuituja, kuten nuuttaessa ps. Nuuttaussuunnan merkitys korostuu, koska nuuttattava kartonki on pitkäkuituisesta massasta tehtyä, jolloin massasulpun sisäkerroksen kuidunpituus on pitkä.

Nuuttaus syntyy kartonkiin nuuttiurassa, stanssin painaessa sen ja kanaalin välissä olevaa kartonkia. Kuvioissa 4 ja 5 on sivusta päin kuvattuna nuutattavan kartongin ja aaltopahvin nuuttautuminen stanssin ja kanaalin välissä.



Kuvio 4. Taivekartongin nuuttaus



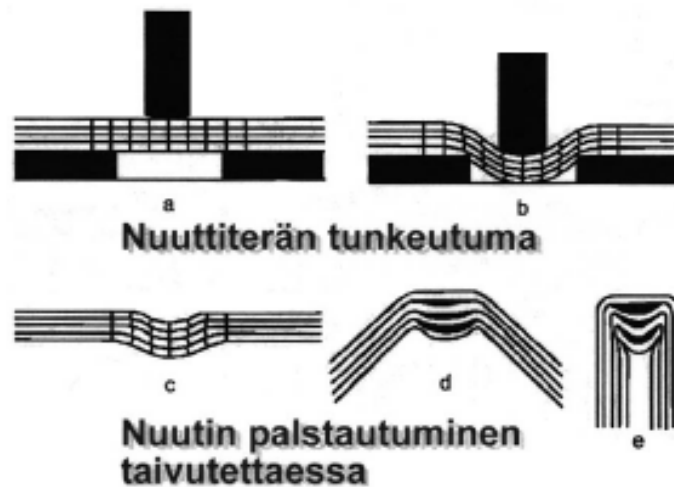
Kuvio 5. Aaltopahvin nuuttaus

Verrattaessa taivekartongin ja aaltopahvin nuuttausta tärkein ero on seuraava. Aaltopahvia nuutattaessa stanssin leveys, joka kuvassa merkitty symbolilla "d" on suurempi aaltopahvia jalostettaessa. Kanaali johon stanssi painuu, on leveämpi aaltopahvin nuuttauksessa kuin taivekartongin nuuttauksessa. Nuutattaessa paksumpia kartonkeja syntyy riski, että kartongin rakenne ei kestä nuuttiurassa vaikuttavia voimia. Kartonki on herkkä murtumaan käytettäessä liian kapeaa kanaalia.

Tällaisessa tilanteessa tulee valita leveämpi stanssi ja kanaaliyhdistelmä.

Nuuttausstanssin ja -kanaalin mitat määräytyvät nuutattavana olevan materiaalin ja sen paksuuden mukaan. Tyypillisimmin käytetään 1,0 mm alkaen, 2,0 mm päättyen levyistä nuuttausstanssia. Vastakappaleeksi tulevan kanaalin leveys määräytyy stanssin leveyden ja nuutattavana olevan kartongin paksuuden mukaan. Nuutattaessa taivekartonkia joka puristuu vain vähän kasaan, stanssin leveys on 1,6 mm ja kartongin paksuus on 0,47 mm. Siten kanaalin leveydeksi määräytyy,  $1,6 \text{ mm} + (0,470 \text{ mm} * 2) = 2,54 \text{ mm}$  (kuvio 6, kohta a). Nuuttaussyvyys määräytyy nuutattavan kohteen käyttötarkoituksen ja nuutattavan materiaalin mukaan. Ollen tyypillisesti taivekartonkia nuutattaessa 1,5 – 2,0ertainen nuutattavan materiaalin paksuuteen nähden (kuva 2.2.4, kohta b). Aaltopahville joka painuu helposti kasaan sitä jalostettaessa, käytetään kokeellisesti määritettyjä nuuttauskanaalin mittoja. Näin aaltopahvi pysyy vielä ehjänä mutta aikaansaa hyvän tarkan nuutin. Stanssin leveys on paksumpi, alkaen 1,5 mm:stä päättyen jopa useiden millimetrien levyiseen stanssiin, nuutatessa vahvoja moniaaltoisia aaltopahveja. Aaltopahvin käyttäminen kotelopakkauksissa on yleistä, valmistettaessa esimerkiksi suuria kodinelektroniikka kuluttajatuotepakkauksia, kuten TV:n tai pesukoneen myyntipakkauksia. Aaltopahvin käyttö vahvana materiaalina vaatii nuuttausstanssilta ja -kanaalilta lujempaa raaka-ainetta. Kanaalipöytä on usein metallia kulumisen estämiseksi.

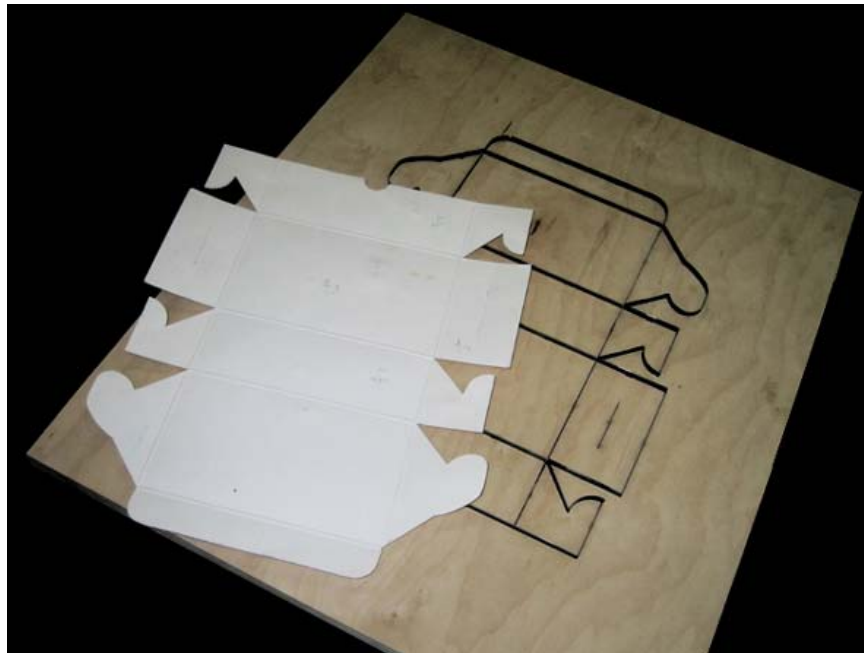
Kuviossa 6 nähdään, kuinka kartongin nuuttausstanssi on painumassa vaiheessa ”a” nuutti kanaaliin ”b”. Kartonkiin syntyy nuuttaus, jolloin kerrokset palstautuvat toisistaan erilleen ”c”. Palstautuminen mahdollistaa vaiheessa ”d” kartonkia taitettaessa kerrosten kokoon painumisen, jolloin tuote pysyy pinnaltaan ehjänä taivutettaessa tuote lopulliseen taitokseen ”e”.



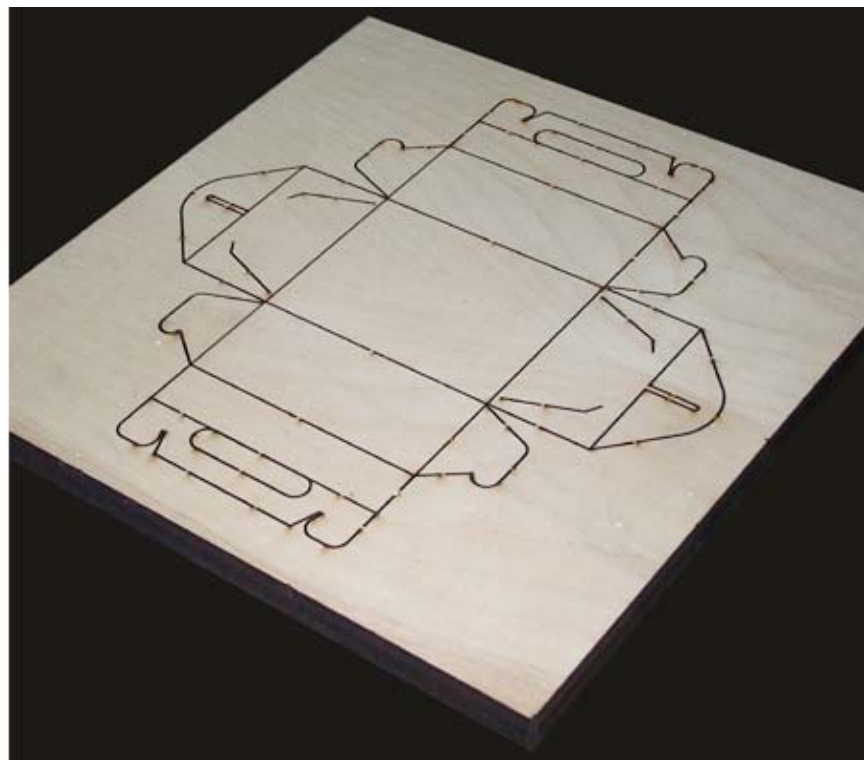
Kuvio 6. Kartongin palstautuminen nuuttaessa

### 2.3 Nuuttaus työkalut ja välineet

Nuuttausstanssin terät ovat korkeat lujuudet omaavaa korroosion kestävää metallia. Tämän vuoksi ne pysyvät terävinä ja kulumattomina käytössä. Se varmistaa tarkan nuuttausjäljen ja siistin irtileikkauksen. Stanssin terämateriaali on yleensä ruostumatonta tai haponkestävää terästä. Ne ovat runsashiilisiä metalleina kovaa ja sitkeää, käytössä kestävä materiaalia. Terät on kiinnitetty vanerilevyyn (kuvio 7) tulevan aihion nuuttausten ja leikkausten mukaiseen asentoon ja positioon. Terät kiinnitetään jyrsimällä vanerilevyyn urat ja liimaamalla terät levyyn. Kanaalilevyn johon on jyrsimä, kaiverrettu, vesileikattu tai poltettu laserilla urat ja kanaalit, materiaali voi olla vaneria (kuvio 8), erityyppistä kumia tai muovia. Kanaalipöytä voi olla myös metallia, riippuen halutusta nuuttaus leveydestä ja nuutattavana olevasta materiaalista. Nuuttaaminen tapahtuu yksinkertaistetusti kartongin ollessa stanssin ja vastinkanaalin välissä kun ne painetaan toisiaan vasten. Kotelotuotannossa sama stanssilevy yleensä sekä leikkaa, että nuuttaa taitteluun menevän koteloaihion (kuvio 9).

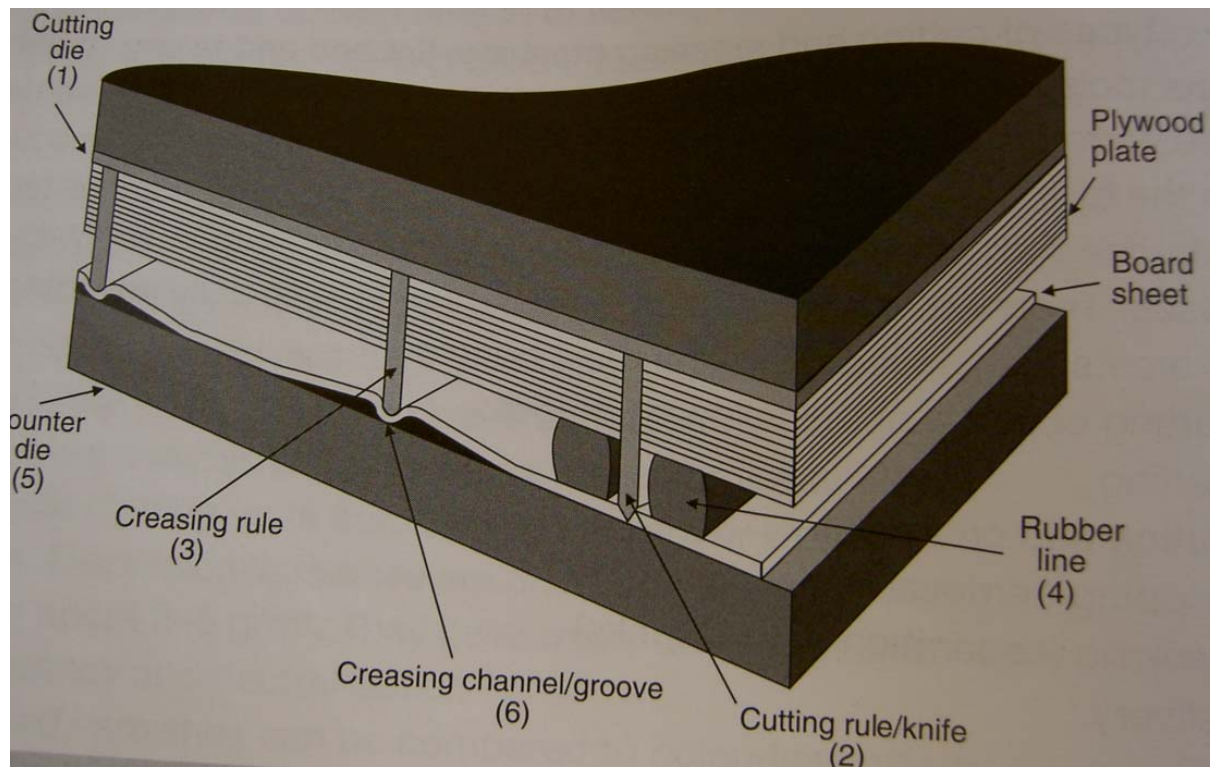


Kuvio 7. Nuuttausstanssi-levy ja nuutattu koteloaihio

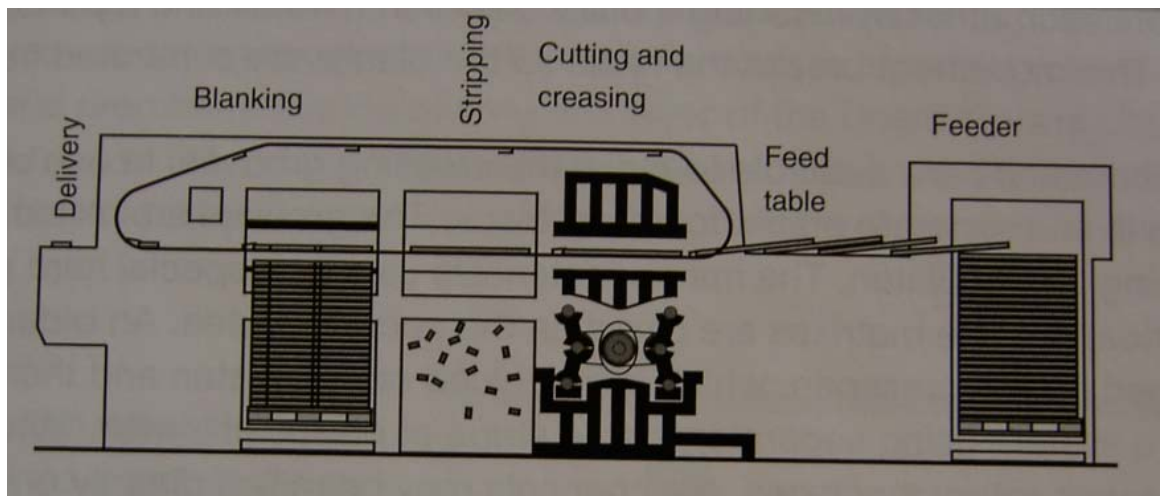


Kuvio 8 Nuuttauskanaalit vastinlevyssä

Kartonkiarkin ollessa nuuttausstanssin ja vastineen, kanaalipöydän välissä (kuvio 9) kuvassa nrolla 2 merkitty leikkausterä leikkaa aihion irrotettavaksi tarkoitetun osan. Leikkausterää ympäröi irroituskumit nro 4, ne painuvat kasaan ja siirtävät aihiota sivusuunnassa stanssilevyn painuessa kanaalipöytää vasten. Ne varmistavat aihion irtoamisen arkista. Nuuttausterät 1 ja 3 painavat kartonkiin nuuttiurat kanaalia nro 6 vasten.

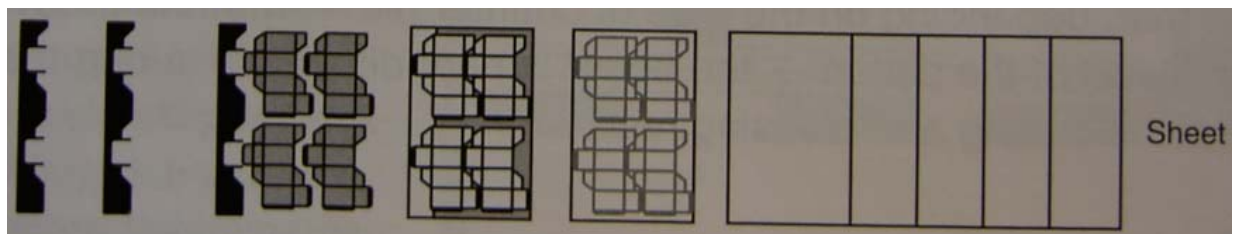


Kuvio 9. Nuuttausstanssi-levy ja vastinkanaali



Kuvio 10. Koteloaihion nuuttaus ja leikkaus

Kuviossa 10 on tyypillinen kartonkiarkin syöttö ja jalostuskoneen lay-out. Syöttöön tulevat kartonkiarkit nousevat oikealta nostopöydän avulla syöttöpöydälle ”feeder, feed table”. Seuraavassa vaiheessa tapahtuu nuuttaaminen ja koteloaihion irtileikkaus ympäröivästä kartonkiarkista (kuviossa 11), cutting and creasing.



Kuvio 11. Koteloaihion erotus kartonkiarkista

Tämän jälkeen vaiheessa ”stripping” irrotetaan kartonkiarkista koteloaihion ulkopuoliset osat. Valmiit koteloaihion sisältämät arkit pinotaan nuuttauskoneen jättöpuolelle ”blanking” kuljetettavaksi prosessissa eteenpäin.



Nuuttaamista voidaan suorittaa tuotannon laajuudesta riippuen monella eri tavalla. Pieniä sarjoja nuuttaessa, ja esimerkiksi oppilaitosten tai jalostustehtaiden laboratorioissa on perusteltua käyttää manuaalisesti toimivia pienempiä laitteita. Ne ovat myös kustannuksiltaan taloudellisempi vaihtoehto. Pienet nuutattavat sarjat saadaan valmistettua sekä tilaajalle kilpailukykyiseen hintaan, että tuottajalle kohtuullisin kustannuksin. Tämän mahdollistaa manuaalisen nuuttauskoneen maltillinen hankintahinta ja edulliset huolto- ja varaosakustannukset.



Kuvio 12. Sidose C 400 manuaalinen nuuttauslaite

Kuviossa 12 on tuotannollisesti pienimittakaavaiseen nuuttaukseen tarkoitettu Sidose C 400 -mallinen manuaalinen nuuttauspöytä. Laite on mitoiltaan 610 \* 600 \* 130 mm. Nuutattavan arkin maksimileveys on 400 mm. Sidose C 400 edustaa mitoiltaan tyyppillisen kokoista, manuaalikäyttöistä nuuttauslaitetta.



Kuvio 13. Morgana AutoCreaser 33 -automaattinuuttauspöytä

Morgana on opinnäytetyön koostamishetkellä markkinoiden ainoa tuotemerkki, joka valmistaa automaattisesti toimivia nuuttauslaitteita. Kuvion 13 esittämä AutoCreaser 33 on varustettuna imuaukoksella ja veitsitoimisella kaksoisvastateränuuttauksella. Varusteina on mm. rekisteripöytä ja muistipaikat toistuvien nuuttausten tekoon. Etuja tilaajalle ovat helppo käyttökuntoonlaitto ja tuotantonotto sekä koneen suuri tuotantonopeus. Nuutattavan materiaalin paksuus-skaala on laaja, minimi 70 g/m<sup>2</sup>:sta aina 400 g/m<sup>2</sup>:aan saakka. Koneessa on automaattisen perforoinnin mahdollisuus, perforointiterä on vakiovaruste. Perforointi tarkoittaa materiaaliin aikaansaataavaa epäjatkuvuuskohtaa, josta kahden kappaleen on tarkoitettu irtoavan hallitusti toisistaan. Tyypillisin kohde, jossa kuluttaja joutuu tekemisiin perforoinnin kanssa on wc- ja talouspaperirullan arkkien välinen katkokohta. Tällaista katkokohtaa kutsutaan perforoinniksi. Morgana AutoCreaser 33 -mallin suurimman mahdollisen nuutattavan arkin tai kappaleen mitat ovat: 630 \* 330 mm. Minimimitat kyseisellä laitteella ovat 140 \* 160 mm. Tuotantonopeus on 5000 arkkiä tunnissa. Laite pystyy tekemään 16 nuuttausta kerralla yksittäiseen arkkiin.



Kuvio 14. Morgana AutoCreaser 50 -mallinen automaattinuuttauspöytä

Morgana nuuttaustyökalujen toimittajan kapasiteetiltaan suurin ja mitoiltaan suurimpia nuutattavia arkkeja käsittelevä malli on AutoCreaser 50. Se kykenee nuuttaamaan kerralla samaan arkkiin 16 erisuuntaista ja -pituista nuuttia. Nuuttauksen minimileveys on vain 1,0 mm. Koneen tarkkuus on erinomainen, luvattu toleranssi mitoille on 0,1 mm. Kapasiteetiltaan tämä markkinoiden nopein kone on 6000 kpl maksimikokoisia 707 \* 500 mm arkkeja tunnissa.

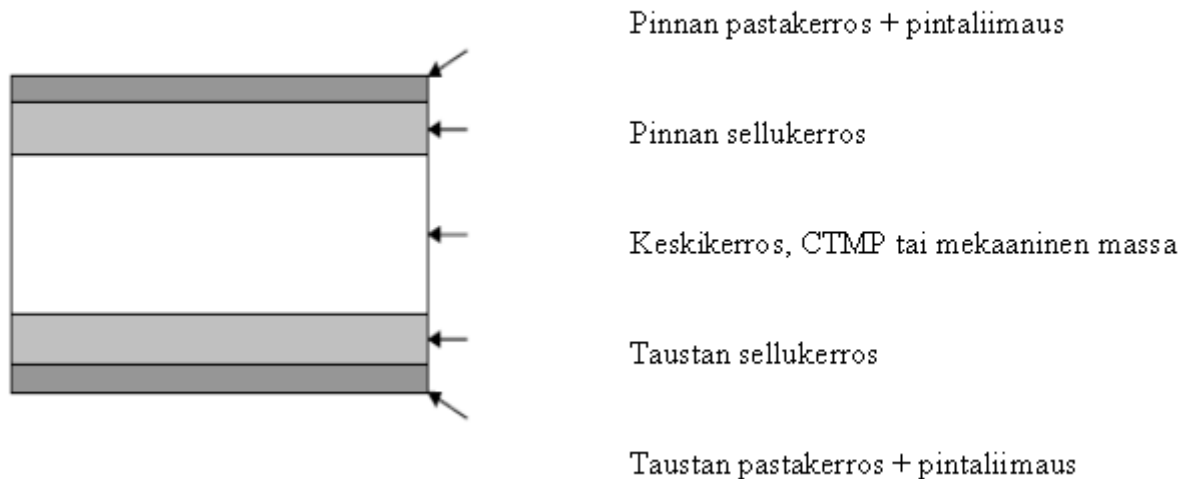
Referenssinä monopolimarkkinaosuudestaan Morgana on asentanut AutoCreaser 33 -mallia Suomessa yli 80 tuotantolaitokseen. Malliston lippulaivaa AutoCreaser 50:tä se on toimittanut 12 jalostuslaitokselle. Merkittäviä suuria jalostuslaitoksia joihin Morgana on toimittanut AutoCreaser 33:n, ovat mm. Painatuskeskus Finland, Rovaniemi. YO-Paino, Helsinki. Vantaan Kaupunki, Vantaa. Multiprint, Helsinki. ja Tampereen Yliopistopaino, Tampere.

AutoCreaser 50 -mallin tilanneita ovat mm. EuroPrint, Tallinna. PriBox, Hämeenlinna. ja Trio Offset OY, Helsinki. Morganatuotteita tilanneet jalostajat kehuvat laitteita luotettavasti toimiviksi mittatarkoiksi ja käytössä helposti huollettaviksi ja ylläpidettäviksi. Nuuttauslaitteita hankitaan oman yrityksen toimintakyvyn ja kustannusrakenteen parantamiseksi. Alihankintana suoritettava nuuttaus ei ole kustannustehokasta ja saattaisi aiheuttaa aikataulullisia ongelmia viivästysten johdosta.

### 3 Kartongin ominaisuudet ja niiden merkitys

#### 3.1 Kartongin rakenne ja sen vaikutus nuuttaukseen

Taivekartongin valmistuksessa on tavoitteena, että pyritään tuottamaan rakenne jossa keskikerroksen tiheys on matala. Sen molemmin puolin olevat tiiviimmät pintakerrokset ovat rakenteellisesti tiheämpää massaa. Taivekartonkia valmistettaessa tämä on saatu mahdollistettua optimoimalla kuhunkin kerrokseen käytettävät raaka-aineet eli massa- ja täyteainekoostumukset.

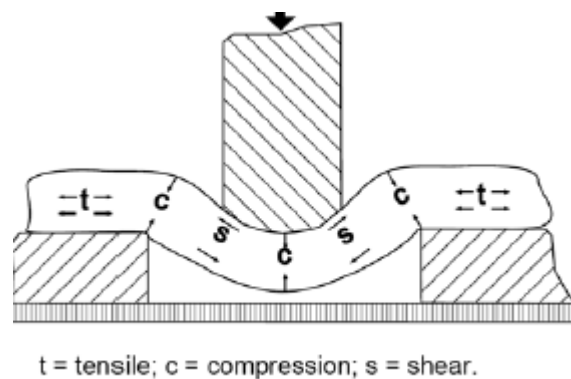


Kuvio 15. Taivekartongin rakenne

Nuuttaamisessa kartongin kerrosten väliset sidokset irtoavat osittain toisistaan niin, että optimitapauksessa koko sisäinen muodonmuutos, kartongin palstautuminen, tapahtuu ainoastaan sisäkerroksessa. Hyvän nuutattavuuden mahdollistamiseksi kartongille tärkeitä ominaisuuksia ovat, palstautuminen, venymä ja joustavuus, vetolujuus sekä z-suuntainen kokoonpuristuvuus.

Kartongin palstautumisominaisuudet ovat ensiarvoisen tärkeitä nuuttaamisen ja nuutattavuuden kannalta, koska nuuttaus tapahtumassa kartonki jakautuu niin moneen ohueen kerrokseen kuin on mahdollista pinnan murtumatta. Sen vuoksi uloimmaksi jäävä kerros joutuu venymään eniten, ja siltä vaaditaan eniten joustavuutta.

Kartonkia nuutattaessa siinä tapahtuu plastinen, palautumaton muodonmuutos. Kartonki delaminoituu ohuen ohuiksi yksittäisiksi kerroksiksi. Kartongin monikerroksinen rakenne on hyvä ominaisuus nuuttauksen kannalta, koska kerrokset ovat yksikerrosrakenteeseen verrattuna huomattavasti kiinni toisissaan, eikä ole syntynyt niin vahvoja sidoksia kerrosten väliin. Tämä helpottaa delaminoitumista. Kartongin seistessä pitkiä aikoja varastossa sen sisäiset sidokset lujittuvat märkäluja liimojen kypsyessä, samalla kun kartonki kuivaa. Tämä vaikeuttaa nuuttaamisessa tärkeää palstautumista hallitusti ja suurentaa kartongin vaurioitumisriskiä. Edellä mainituista syistä johtuen olisi hyvä saada valmistettu kartonki nuutattavaksi kohtuullisen ajan kuluessa tuottamisesta. Pidempäänkin varastossa seissyt taivekartonki soveltuu nuutattavaksi. Haittapuolena on, että todennäköisyys vaurioiden syntyyn kasvaa varastointiajan pidentyessä.



Kuvio 16. Kartongin nuuttaus ja siihen vaikuttavat voimat nuuttaustilanteessa

Pintakerrokseen vaikuttaa nuuttauksen aikana sekä pintaa venyttävää vetojännitystä (kuvassa t:llä merkittyä), että puristavaa (kuvassa c:llä merkittyä) voimaa. Kartongissa tapahtuu myös venyttävää leikkausvoimaa (kuvassa s:llä merkittyä). Tämän vuoksi kartongin rakenteen tulee antaa periksi eli olla joustava ja kestää murtumatta nuuttauksessa. Sellun käyttö pintakerroksessa aikaan saa hyvät veto- ja repäisylujuudet. Nämä yhdessä mahdollistavat pintakerroksen venymän nuuttaustilanteessa pintakerroksen repeämättä.

Hyvä nuutti on suhteellisen syvä ja kapea. Nämä yhdessä aikaansaavat tarkan ja siistin taittumisen halutulta kohdalta. Nuutin syvyyttä rajoittaa paksuilla kartonkilajeille se, että kartonkiin kohdistuu niin suuria voimia, ettei se kestä murtumatta vastineen, johon stanssi painuu, ollessa kapea. Leveämpää kanaalia käytettäessä taas aikaansaadaan epätarkempi taipumiskohta, koska itse nuuttausura kartongissa levenee.

### **3.2 Nuutattavan kartongin raaka-aineiden vaikutus**

Taivekartongin tai muun monikerroksisen kartongin keskikerroksen pääasiallisena raaka-aineena käytetään pitkäkuituista massaa. Massa on useimmiten mekaanista massaa, joka voidaan jakaa kahteen päätyyppiin hiokkeeseen ja hierteeseen. Yleisesti käytetään myös puolikemiallista CTMP (Chemi Thermo Mechanical Pulp, Kuumakemihierre) -massaa. Näitä raaka-aineita käyttämällä saadaan kartongin keskikerrokselle paksuutta ja valmiille kartongille bulkkisuutta. Bulkkisuus joka tarkoittaa käytännössä kartongin paksuutta ja sisäkerroksen paksuuden suhdetta kansi- ja pohjakerrokseen on tärkeää. Bulkkisuus on tärkeä ominaisuus kartongille nuutattavuuden kannalta, koska kartongin nuuttautumisessa suurin muutos rakenteessa tapahtuu keskikerroksessa. Pintakerroksina käytetään poikkeuksetta sellua, joka on kemiallisesti valmistettua massaa ja aikaan saa kartongille hyvät lujuudet. Sellukerroksen käyttö pinta- ja pohjakerroksen pääasiallisena raaka-aineena parantaa kartongilta hyvän nuutattavuuden lisäksi vaadittavia yleisiä pintaominaisuuksia. Näitä ovat mm. kartongin karheus, sileys, vaaleus ja muut optiset ominaisuudet. Pintaominaisuudet ovat tärkeitä muissakin kartongin jalostuslajeissa nuuttaamisen ohella, esimerkkinä painatus ja muut kartongin päällystystavat. Nuuttaus vaatii aihion pohjana käytettävältä kartongilta paljon. Taivekartonkiin kohdistuu sitä rasittavia voimia, jotka sen on kestävä murtumatta.

### 3.3 Kartongin pinnoitteet ja niiden merkitys

Nuuttaaminen vaatii paljon paitsi itse pohjana olevalta kartongilta, myös jalostettavan paperin- tai kartongin pintamateriaaleilta. Kartonki ja usein myös suurin osa papereista päällystetään. Taivekartongin massakerrosten päällä on lähimpänä pintaa päällystepasta. Tyypillisesti taustan puolella on yksi kerros ja pinnan puolella kaksi kerrosta. Sen alla on pintaliimaus. Pintaliimat eivät tärkkelyspohjaisina ja kuivanakin elastisina aiheuta ongelmia kartongin rakenteen käyttäytymisessä nuuttaamisessa. Applikoitavan pintaliiman määrä on niin pieni, vain muutama g/m<sup>2</sup>, ettei sillä ole vaikutusta kartongin pinnan käyttäytymiseen taittumisvaiheessa. Päällystepastaa taas applikoidaan kartongin pintaan runsaasti. Suuruusluokka vaihtelee paljon päällystettävän tuotteen loppukäytöstä riippuen, ollen karkeasti yleistäen 10 - 30 g/m<sup>2</sup> välillä. Tällä haetaan visuaalisen ja optisten ominaisuuksien parantamisen kautta parempaa painettavuutta. Päällystepasta sisältää runsaasti savea. Pastan raaka-aineista 80–95 % on täyteaineita riippuen pastalajista. Tämä aikaan saa vaalean, optisilta- ja painatusominaisuuksiltaan hyvän pinnan. Tyypillisimpiä päällystepastan raaka-aineita ovat talkki, kaoliini, titaanidioksidi ja kalsiumkarbonaatti. Pasta sisältää myös sideaineina toimivia tärkkelystä ja latekseja. Sideaineet eivät aiheuta ongelmia nuuttauksessa, päinvastoin ne parantavat elastisina kuivatun pastan joustavuutta. Näin ne edesauttavat päällysteen ehjänä pysymistä nuuttauksen jälkeen, taivutettaessa kartonkia haluttuun muotoon. Riippuen saven määrästä päällystepastan reseptissä, saattaa aiheutua ongelmia taivutettaessa pinnan ehjänä pysymisessä. Taivutettaessa kartonkia nuuttauksesta, se pysyy ehjänä koska sen kerrokset ja rakenne palstautuu ja painuu hallitusti kasaan nuutin kohdalta. Kartongin pintaan applikoitu pasta on tiiviimpää ja siten herkempää murtumaan kartonkiin verrattuna. Syntyy päällystevaurion riski. Päällystevaurio on todennäköisempi käytettäessä paksuja päällystekerroksia, varsinkin pastareseptin täyteaineina olevien kivipartikkelien ollessa suuria. Pastan raaka-aineena käytettyjen täyteaineiden raekoot ovat titaanidioksidin hyvin pienistä 0,5 mikrometriä partikkeleista, kaoliinin maksimissaan

5,0 mikrometriin. Ongelmia syntyy useimmin suuripartikkelisten, kaoliini- ja kalsiumkarbonaattipohjaisten päällystepastojen kanssa. Nuuttauksen jälkeen aihiota taivutettaessa, sisäpuolisen pinnan tulee kestää päällystettä kokoonpuristavaa voimaa. Ulkopuolelle jäävän pinnan venytystä (kuvio 17). Pastareseptit ovat kehittyneet asiakasreklamaatioiden myötä niin, ettei pastan murtuminen nuuttauksen jälkeisessä kotelonjalostuksessa ole merkittävä ongelma nykyisillä pastaresepteillä. Painovärit joita käytetään pakkauskartonkiaihioiden painatuksessa, ovat tahmeita ja elastisia. Painoväri muodostaa hyvin ohuen kalvon kartongin pintaan. Se kestää hyvin taivutusta ja venytystä, aiheuttaen harvoin ongelmia nuuttaamisessa. Painoväriin mahdollisesti aiheuttama ongelma nuuttauksessa on terien likaantuminen. Likaantumista estetään painamalla tuote jalostuksessa vasta nuutti- ja leikkausurien painamisen jälkeen. Nestepakkaus- ja elintarvikekartonkia valmistettaessa, käytetään PE (polyeteeni)-muovikalvoa haluttaessa tuotteelle riittävä rasva- ja vesihöyrytiiveys. Tyypillinen PE-päällystetty tuote on maitotuotepakkaus, esimerkiksi normaali 1,0 tai 1,5 l maitopurkki. Vaadittaessa korkeampaa suojaavuutta ja parempia aromi-, kaasun- tai rasvatiiveys-ominaisuuksia käytetään high-barrier-yhdistelmämuovikalvoa applikoituna kartongin pintaan. High-barrier-kalvolla pakkausta käytetään mehujen, keittojen, mausteiden tai jogurttien kuluttajatuotepakkauksissa. Parasta tiiveyttä ja valon- tai lämmönsuojaa vaadittaessa käytetään alumiinilaminointia kartongin pinnalle. Sitä käytetään pakattaessa aseptisia tuotteita tai pitkän säilytysajan huoneenlämmössä vaativia tuotteita. Kaikille pakkauksille on ominaista, että muovikalvo tai muu kalvo suojaa pakkauskartonkia elintarvikkeelta ja päinvastoin. Muovikalvo kestää joustavana materiaalina hyvin venytystä, joka kohdistuu siihen nuuttauksessa ja sen jälkeisessä taivutuksessa. On ensiarvoisen tärkeää, että kalvo pysyy ehjänä ja kiinni kartongissa nuutattaessa, jotta suojaavat ominaisuudet säilytetään.



### 3.4 Ongelmat nuuttauksessa

Kuviossa 17 nähdään, kuinka kartonginpäällyste on vaurioitunut venyessään. Oheinen elektronimikroskoopilla otettu kuva havainnollistaa, kuinka pinnan sellukerros sekä sen pinnassa oleva kartongin päällystepasta ovat murtuneet. Ne ovat vaurioituneet nuuttauksen aiheuttamasta, vetojännityksen ja leikkausvoimien yhteisvaikutuksesta. Syy tällaiseen pinnan vaurioitumiseen on yleisesti kuiva liian tiivis kartongin pintakerros. Syy saattaa olla myös korostuneen voimakas kartongin sisäinen kerrosten toisiinsa sitoutuminen, joka estää palstautumisen. Samoin syynä voi olla päällystepastan raaka-aine resepti, pasta ei ole riittävän elastista kuivauksen jälkeen valmiissa tuotteessa.



Kuvio 17. Pintavaurio



Kuvio 18. Kartonki pysyy ehjänä nuuttauksessa

Elektronimikroskoopin kuvasta nähdään kuviossa 18, kuinka kartonki käyttäytyy nuuttauksen onnistuessa optimaalisella tavalla. Taivekartonki on palstautunut oikeaoppisesti, keskikerros on liuskoittunut kartongin painuessa nuuttausstanssin ja -kanaalin välissä. Kartonkiin saadaan aikaan siisti taitos kerrosten pysyessä ehjinä.

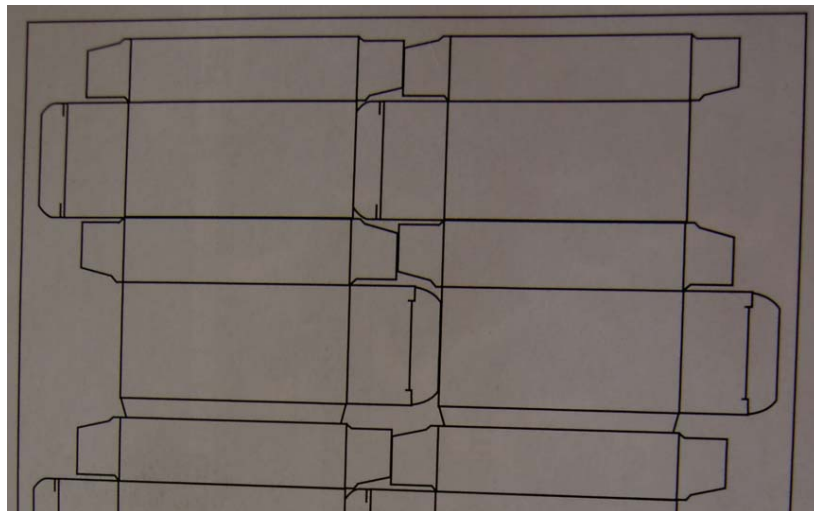


Kuvio 19. Valkaisematon yksikerroksinen liner-kartonki

Edellisen sivun kuvio 19 osoittaa, kuinka yksikerroksisen paperin tai kartongin kerros on delaminoitunut nuutista toivotulla tavalla. Se on aikaan saanut valkaisemattomaan aaltopahvin liner-kartonkiin nuuttiuran. Nuutattaessa ja taivutettaessa yksikerroksirakenteisen kartongin palstautuminen tapahtuu koko kartongin poikkileikkausprofiilissa.

### 3.5 Kartongin ja nuutin vaatimukset kotelon valmistuksessa

Taivekartongilta ja jalostettavalta arkilta vaaditaan tiettyjä ominaisuuksia, jotka mahdollistavat häiriöttömän kotelonvalmistuksen. Kartongin on oltava neliömassa-, paksuus- ja kosteusprofiileiltaan mahdollisimman suoraa ja tasalaatuista. Se takaa kartonkiarkin sujuvan ja esteettömän kulun jalostuskoneen läpi (kuvio 10). Arkkileikkurilla leikattujen, nuuttaukseen menevien arkkien on oltava ehdottomasti tasakokoisia ja suorakulmaisia. Vinous tai kokoero aiheuttaa prosessihäiriöitä nopeassa nuuttauskoneessa. Leikkurilta tulevat arkit pyritään nuuttaamaan ja leikkaamaan niin, että pidemmät taitokset tulevat ks.



Kuvio 20. Koteloaihion ääriviivat arkissa

Taivekartonkikotelon valmistuksessa, arkkileikkurilla leikatusta arkista tehdään koteloaihio. Siihen nuutataan tulevia taitoksia varten nuutit (kuvio 11). Aihiot irrotetaan arkista ja ne jatkavat taitteluun. Taittelussa jalostuslinja levittää liiman toisiinsa kiinni liimattaviin läppiin ja painaa ne toisiaan vasten. Näin syntyy valmis taivekartonkikotelo. Eräs erittäin tärkeä kartongin käytösmalli nuuttauksen onnistumisen kannalta on palautumattomuus. Jalostuslinjalla on levitetty liima kiinnipainettaviin osiin ja ne painetaan toisiinsa. Kartongin tulee taittamisen jälkeen jäädä asentoonsa. Taitoksen kääntämisen jälkeen kartonki palautuu kohti alkuperäistä suoraa muotoa, mutta se ei saa palautua liiaksi. Nuuttaus, joka on kapea ja riittävän syvä, aikaansaa kartongissa jo edellä useasti mainitun palstautumisen. Palstautuminen on välttämätöntä kartongille, että se pysyy asennossaan kotelon kasausvaiheessa palautumatta liiaksi ja häiriten prosessia. Kartongin palautumiseen taitoksen jälkeen pystytään vaikuttamaan sen valmistuksessa. Taivekartongin raaka-aineiksi valitaan pitkäkuituinen sisämassa ja sellu pintakerrokseen. Kartonki kuivataan niin, että saavutetaan vaaditut esikäyryystavoitteet. Neliömassa-, kosteus- ja päällysteprofiilit pidetään tasaisina läpi radan. Kartongin paksuus ja jäykkyydet hallitaan, ajamalla pintojen sellukerrokset oikean vahvuksina. Kartongin valmistuksen perushallintasuureilla saadaan pohjana toimiva kartonki ominaisuuksiltaan toimivaksi. Tähän lisätään hyvin tehty nuuttaus, joka on oikean syvyinen ja levyinen. Näin varmistetaan kotelonvalmistuksen häiriöttömyys ja tasainen nopea tuotanto.

## **4 Mittauksista yleisesti**

### **4.1 Käytetyt mittalaitteet**

Opinnäytetyössä käytetyt mittalaitteet ovat TAMK:n omaisuutta. Ne ovat Lorentzen & Wettren valmistamia, laboratoriomittauksiin suunniteltuja tarkkuusmittalaitteita. Koneiden kalibroinnit ovat voimassa, näin mittausten tulokset ovat luotettavia ja vertailukelpoisia. Käytetyistä laboratorion mittalaitteista L&Wn Bendtsen roughness -mittari täyttää mm. DIN 53108 ja ISO 8791-2 -standardit. L&Wn Tensile strenght mittari täyttää mm. DIN 53112 ja ISO 19242 -standardit. L&Wn Bending tester mittari täyttää mm. ISO 2493 ja SCAN P 29 -standardit. Laboratoriomittalaitteiden ohella käytettiin nuutatun kartonki testikappaleen palautumisen määrittämiseen manuaalista astelevyä. Työn luvussa 5.3.2 olevat näytteet on kuvattu Konica-Minolta G 400 Dimage -digitaalikameralla.

### **4.2 Mittalaitteiden toiminta ja mitattavat suureet**

Vetolujuuden ja murtositkeyden mittaukseen käytetään samaa laitetta, Lorentzen & Wettren Tensile strenght -mittaria. Laite määrittää vetolujuuden, mittaamalla 15 mm leveän ja minimissään 100 mm pitkän testiliuskan venymään vaatiman voiman ja venymäpituuden ennen murtumista. Lujuuden määrittämiseen laite käyttää sivusuuntaan liikkuvan voima-anturin antamaa tietoa: näytteen venymästä ennen murtumista, vaadittavasta voimasta, laskennallisesta näytteen poikkipinta-alasta ja vetonopeudesta. Laite ilmoittaa vetolujuuden yksikössä kN/m. Vetolujuudet on määritetty SCAN P77:95 -standardin mukaisesti. Murtositkeyden mittari määrittää, 50mm levyisestä minimissään 100mm pituisesta näytekappaleesta, joka kiinnitetään mittaleukojen väliin. Mittari tekee näytekappaleeseen, sen keskelle, poikkisuuntaisen 2 \* 20 mm leikkauksen ja venyttää sen poikki sivusuuntaan liikkuvan voima-anturin välityksellä. Laite kerää tiedot: vaadittavasta voimasta ennen murtumista, vetonopeudesta, venymästä sekä näytteen

poikkipinta-alasta. Se vertaa ennen murtositkeys koetta tehdyn vetolujuustestin tietoja saman näytteen murtositkeys arvoihin ja määrittää näin kappaleen murtositkeyden, jonka yksikkö on J/m. Murtositkeys on tärkeä ominaisuus kartongin valmistuksessa. Ratakatkot lähtevät liikkeelle rainassa olevasta reiästä. Hyvän murtositkeyden omaava kartonki pysyy ehjänä reiästä huolimatta. Murtositkeyden määrittäminen on suoritettu SCAN P77:95 -standardin mukaisesti.



Kuvio 21. Lorentzen & Wettre Tensile strength -mittalaite

Työssä käytettiin nuutattavuuden määrittämiseen L&Wn taivutusvastusmittaria. Se vertaa nuuttaamattoman näytteen taittamiseen vaadittavaa voimaa verrattuna nuutattuun näytteeseen. Näytepalojen mitat on 38 \* 80mm. Mittaukset on tehty 10 kpl sarjoina. Nuutattujen näytteiden nuuttaukset on tehty paperitekniikan laboratorion manuaalinuuttauspöydällä. Laite vertaa taittamiseen vaadittavaa momenttia suhteessa taivutettuun kulmaan 90° ja laskee siitä tulokset (kuvio 22). Nuutattavuuden yksikkönä käytetään symbolia M. Voima ilmoitetaan yksikössä mN/m. Mittalaite määrittää maksimi taivutuskourman 90° taittumisen aikana. Taivutustyö, symboli W, on taittumisaikana yhteenlaskettu mittarin voima-anturin käyttämä voima näytepalan taittamiseksi 90° kulmaan.

Mittari taivuttaa näytettä kulmanopeudella 45°/s. Nuutattavuutta mitattaessa laite laskee samalla taivutusjäykkyyden. Sen symboli on  $S$ . Taivutusjäykkyyden yksikkönä käytetään samoin kuin nuutattavuutta ilmoitettaessa mN/m.

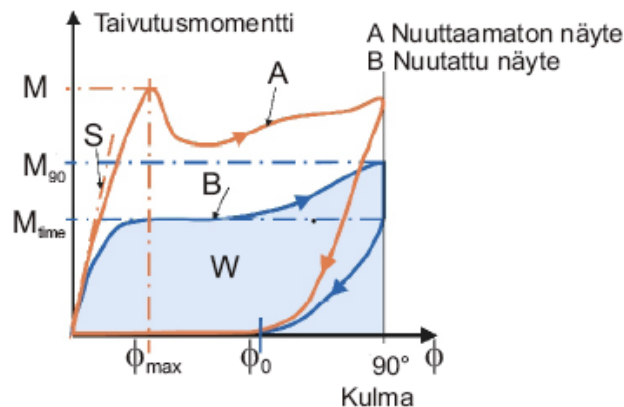
Nuutattavuus mittaukset on suoritettu SCAN P29:95 -standardin mukaisesti

Mittari laskee taivutusjäykkyyden arvon  $S_b$  käyttäen laskennassa:

$$S_b = \frac{60 \times F \times l^2}{\pi \times \alpha \times b}$$

$S_b$  = taivutusjäykkyys, mNm  
 $F$  = taivutusvoima, N  
 $l$  = taivutuspuite, mm  
 $\alpha$  = taivutuskulma, aste  
 $b$  = näytteen leveys, mm

Laskennassa käytetyt yksiköt ovat :



Kuvio 22. Graafinen esitys nuutattavuuden määrittämisestä



Kuvio 23. L&Wn Taivutusvastusmittari nuutattavuuden määrittämiseen

Kokoonpuristuvuuden mittaukseen ja määrittämiseen käytettiin Lorentzen&Wettren Bendtsen roughness -pintakarheusmittalaitetta. Siinä on kokoonpuristuvuuden mittaus ominaisuus. Laite puristaa mittarin kiinteän alaleuan ja ylösalas liikkuvan ylemmän mittapään väliin asetettavasta kappaleesta pintakarheuden ja kokoonpuristuvuuden. Se määrittää kokoonpuristuvuuden mittaamalla läpivirtaavan ilman määrän yksinkertaisella mittapään paineella, sitten vertaamalla sitä viisinkertaisella paineella tehtyyn ilmanvirtaukseen. Kokoonpuristuvuus lasketaan alkuperäisestä kartongin karheudesta ja sen suhteesta viisinkertaisella voimalla puristettuun mittaukseen. Mitattavana olevan näytteen tulee olla vähintään mitta-antureiden 40mm halkaisijaisten suuruinen. Kokoonpuristuvuustestejä suoritettiin riittävän laajan vertailupohjan määrittämiseksi ja luotettavan tuloksen saamiseksi, 20 kpl sarjoina jokaisesta tutkittavasta kartonkilajista. Mittaukset on suoritettu standardin SCAN P21:67 mukaisesti



Kuvio 24 L&amp;Wn Bendtsen -mittari



Kuvio 25 Mittaustapahtuma



Kartonkia taitettaessa nuuttauksesta, se joustaa takaisin otteen irrottamisen jälkeen. Työn kokeellisessa osuudessa tehtiin vertailu. Siinä taitettiin 20 mm levyisiä nuutattuja näytteitä 5kpl sarjoissa. Näytteet taitettiin  $90^\circ$  ja  $180^\circ$  kulmaan. Taittamisen jälkeen näytteet vapautettiin ja mitattiin astelevyllä näytteen takaisin palautumisen määrä. Kokeessa määritettiin sormituntumaan perustuen kartongin päällystyksen ja sen iän vaikutuksia taittamiseen. Koe simuloi kotelovalmistuksessa tilanteita, joissa kartonki on eri-ikäistä.



Kuvio 26. Kartongin joustavuuden määrittäminen, palautuma  $90^\circ$  taitosta



Kuvio 27. Kartongin joustavuuden määrittäminen, palautuma  $180^\circ$  taitosta

## **5 Kokeellinen osuus ja tavoitteet**

### **5.1 Mitä kartongille tapahtuu nuutattaessa**

Kartonkia nuutattaessa sen rakenteessa tapahtuu muutoksia. Nuuttiuraan ja sen välittömään läheisyyteen syntyy muodonmuutos. Kartongin rakenteessa tapahtuu venymistä ja siihen vaikuttaa erilaisia voimia. Kuitujen ja täyteaineiden kemiallisten sidosten avulla muodostettu rakenne kokee plastisen muodonmuutoksen. Kartonki on bulkkisesta rakenteestaan johtuen pinnansuuntaisesti, z-suuntaan kokoonpuristuvaa. Työssä mitattiin kuinka paljon eri neliömassaiset ja paksuiset kartongit menettää paksuuttaan, kuormitettaessa niitä L&Wn karheus-mittarin kokoonpuristuvuustestillä.

### **5.2 Kokeellisessa osuudessa mitattavat suureet**

Työn kokeellisessa osuudessa tehtiin TAMK:n paperilaboratorion mittalaitteilla testejä. Niillä todistettiin kartongin rakenteessa tapahtuvien muutosten vaikutuksia sen lujuuteen ja käyttäytymiseen. Tavoitteena oli todistaa, että nuuttauksessa tapahtunut muodonmuutos kartongin rakenteessa heikentää sen ominaisuuksia. Pyrittiin todistamaan, että vetolujuus heikkenee ja syntyy epäjatkuvuuskohta josta kartonki repeää ensimmäiseksi. Mitattiin käsiteltävinä olevien taivekartonkien murtositkeydet. Määritettiin ja tutkittiin kotelonvalmistuksessa tärkeää, kartongin palautumattomuutta taiton jälkeen.

### 5.2.1 Vetolujuus ja murtositkeys

Vetolujuutta ja murtositkeyttä käytetään ilmaisemaan kartongissa tapahtuvaa venymistä ennen sen murtumista. Vetolujuus tarkoittaa terminä, kuinka suurella voimalla kartonkia voidaan kuormittaa vetämällä sitä konesuuntaan ennen sen murtumista. Kartonki käyttäytyy eritavalla paperi- tai kartonkikoneella kuin laboratoriomittauksissa. Venyttävän voiman ollessa nopeaa, kuten radan kireysvaihtelut kartonkikoneella, se kestää voimakkaampaa vetoa.

Laboratoriomittauksissa testerit venyttävät paperin- tai kartonginpala hitaammin, näin saatu tulos on pienempi kuin kartongin kestävä venytys kartonkikoneella.

Tällainen käyttäytyminen johtuu kartongin viskoelastisesta rakenteesta.

Viskoelastisuus tarkoittaa sitä, että kun kuormittava liike alkaa nopeasti kartongin sisäiset sidokset kestävät paremmin niitä toisistaan irti venyttävää voimaa, kuin jos venytys alkaa hitaasti. Syntyneet vetysidokset purkautuvat tasaisessa ja hitaassa vedossa helpommin.

Murtositkeys on murtoenergian ja kimmomodulin geometrinen keskiarvo.

Murtositkeys ja vetolujuus omaavat yhtäläisyyksiä. Hyvän vetolujuuden omaava kartonki vastustaa myös hyvin murtositkeyttä mittaustilanteessa. Murtositkeyttä voidaan ajatella niin, että kappaleessa on tehty keskelle näytettä leikkaus poikkisuuntaan, murtositkeys ilmaisee kuinka paljon kartonkia voidaan venyttää ks ennen kuin ps leikkaus alkaa repeämään lisää. Murtositkeys määrittää voiman joka vaaditaan leikkauksesta alkaneen murtuman pitenemiseen ps testikappaleessa.

### 5.2.2 Nuutattavuus ja sen mittaus

Nuutattavuustesti määrittää nuutatun ja nuuttaamattoman näytteen taivuttamiseen vaadittavaa voimaa. Lorentzen&Wettren taivutusvastus ja nuutattavuus-mittari antaa tuloksen nuutattavuudesta. Se mittaa nuutatun ja nuuttaamattoman näytteen taittamiseen vaadittavat voimat laskien niistä nuutattavuuden.

### **5.2.3 Kartonkilajien erot mittauksissa**

Eri kartonkilaatujen käyttäytyminen mittaustilanteessa ja lajien mittaustulosten erot: korreloivatko tulokset luotettavasti keskenään. Todetaanko luotettavasti, nuuttaus aiheuttaa kartongin rakenteeseen epäjatkuvuuskohdan.

### **5.2.4 Kone- ja poikkisuunnan vaikutus**

Taivekartonkilaatujen erot mitattaessa ks verrattuna ps.

Todetaanko, että kartongin nuuttaus on helpompi suorittaa ps.

Kuituorientaation vaikutus, vastustavatko jopa 2,0 mm pitkät kuidut kartongin taipumista nuuttauksesta.

### **5.2.5 Kartongin joustavuus**

Neliömassan ja päällystyksen vaikutus kartongin takaisin joustamiseen.

Vaikeuttaako kartonginpäällystys taittamista. Kuinka kartongin neliömassa vaikuttaa taivekartonkiin nuutista taitettaessa. Todetaanko luotettavasti, pitkä varastointi vaikuttaa kartongin vetysidosten kypsymiseen. Verrataan vanhemman kartongin käytöstä tuoreeseen kimmoisuuden osalta. Määritetään nuutatun kartongin takaisin joustavuus astelukuna.

### **5.2.6 Päällistykseen vaikutus kartonkiin**

Millaisia eroja havaitaan verrattaessa pastatonta ja päällistettyä 225 g/m<sup>2</sup> näytettä. Saadaanko mittaamalla todennettua eroa taivutusvastusmittauksessa. Vaikuttaako päällistys epäjatkuvuuskohtaan, repeäkö kartonki aina samasta kohdasta vetolujuustestissä. Todistetaanko, että kartongin rakenne antaa lujuudet. Päällistys ei vaikuta lujuuksiin, huolimatta jopa 30 g/m<sup>2</sup> nousevista päällystemääristä.

### **5.2.7 Kartonkikoneen nopeuden vaikutus**

Verrataan kahta neliömassaltaan ja päällistykseltään identtistä kartonkilaatua, jotka on valmistettu eri koneilla. Saadaanko todistettua, että kapasiteetiltään noin kaksinkertaisella kartonkikoneella BM1 kuituorientaatio vaikuttaa nuuttausvoimaan. Kartonkikoneiden nopeuseron vaikutus kartongin vetolujuuteen ja murtositkeyteen.

### **5.2.8 Kokoonpuristuvuus**

Taivekartonki pyritään valmistamaan bulkkiseksi. Ohuiden ja tiiviiden pintakerrosten välissä, on paksu pitkäkuituisesta massasta valmistettu keskikerros. Se antaa kartongille paksuutta, joka on välttämätöntä jäykkyyksille. Määritetään kuinka paljon taivekartonki puristuu kasaan. Saadaanko määritettyä luotettavia tuloksia kokoonpuristuvuudessa.

### 5.3 Kartonkilajit ja tuotantolaitokset

Tutkitut kolmikerrosrakenteiset taivekartonkinäytteet on valmistettu M-Real Tako Board:n Tampereen kartonkitehtaalla. Näytteet on valmistettu kahdella eri kartonkikoneella, BM1 ja BM3 aikavälillä v. 2007 – 2009. PE-päällystetty 255 g/m<sup>2</sup> nestepakkauskartonki on saatu mitattavaksi TAMK paperilaboratorion tuotevarastosta. Se on valmistettu StoraEnson tehtailla v. 2008 - 2009.

#### 5.3.1 Mitattavat lajit

Kokeelliseen osuuteen valittiin mitattavaksi 10 erilaista kartonkilajia. Lajit eroavat toisistaan neliömassan ja päällystyksen osalta. Näytteet valittiin sellaisista taivekartongeista, joita nuutataan yleisimmin jalostusteollisuudessa. Tällä haettiin työhön mahdollisimman realistista vertailua käytännössä tapahtuvaan kartongin jatkojalostukseen.

#### Mitattavat lajit

Tako Board BM1: CX White S 77-225 g/m<sup>2</sup>, CX 70-230 g/m<sup>2</sup>, CX Lite 25-200 g/m<sup>2</sup>, CX 70-215 g/m<sup>2</sup> valmistettu vuonna 2007, CX 70-215 g/m<sup>2</sup> valmistettu keväällä 2009 ja CX 70-215 g/m<sup>2</sup> päällystämätön.

Tako Board BM3: CX Lite 25-200 g/m<sup>2</sup>, CX 48-315 g/m<sup>2</sup> valmistettu vuonna 2007, sekä CX 48-315 g/m<sup>2</sup> valmistettu keväällä 2009.

StoraEnso PE-päällystetty nestepakkauskartonki 255 g/m<sup>2</sup>

### 5.3.2 Testatut näytteet kuvattuina

Ohessa testatut näytteet kuvattuina vaiheittain: Vaihe 1 nuutattuna, vaihe 2 nuuttauksen jälkeen taivutettuna 180° ja vaihe 3 avattuna 180°:sta 90°:een

StoraEnso PE, 255g/m<sup>2</sup>



Kuvio 28. nuutattu



Kuvio 29. 180°



Kuvio 30. 90°

Tako BM1, 25-200g/m<sup>2</sup>



Kuvio 31. nuutattu



Kuvio 32. 180°



Kuvio 33. 90°

Tako BM3, 48-315g/m<sup>2</sup> valmistettu 2009



Kuvio 34. nuutattu



Kuvio 35. 180°



Kuvio 36. 90°

Tako BM1, 70-230g/m<sup>2</sup>



Kuvio 37. nuutattu



Kuvio 38. 180°



Kuvio 39. 90°

Tako BM3, 25-200g/m<sup>2</sup>



Kuvio 40. nuutattu



Kuvio 41. 180°



Kuvio 42. 90°

Tako BM1, 77-225



Kuvio 43. nuutattu



Kuvio 44. 180°



Kuvio 45. 90°

Tako BM3, 48-315g/m<sup>2</sup> valmistettu 2007



Kuvio 46. nuutattu



Kuvio 47. 180°



Kuvio 48. 90°



Tako BM1, 77-215g/m<sup>2</sup> päällystämätön



Kuvio 49. nuutattu



Kuvio 50. 180°



Kuvio 51. 90°

Tako BM1, 70-215g/m<sup>2</sup> valmistettu 2007



Kuvio 52. nuutattu



Kuvio 53. 180°



Kuvio 54. 90°

Tako BM1, 70-215g/m<sup>2</sup> valmistettu 2009



Kuvio 55. nuutattu



Kuvio 56. 180°



Kuvio 57. 90°

## **6. Mittaukset**

Mittaukset on suoritettu Tampereen Ammattikorkeakoulun paperilaboratoriossa aikavälillä helmikuu 2009 - huhtikuu 2009. Laboratoriossa vallitsee standardoidut mittausolosuhteet. Mittausten aikana olosuhteet vaihtelivat: huoneen lämpötila 23.0–23.5 °C, ilmansuhteellinen kosteusvaihtelu 49.0–51.0 %. Näytteet on ilmastoitu laboratorio vakio-olosuhteissa 4h ennen mittauksia. Nuutatun näytteen takaisin joustavuus on mitattu kotonani Nokialla huhtikuussa 2009.

### **6.1 Vetolujuus**

TAMK:n paperilaboratorion Lorentzen&Wettren Tensile strenght -mittarilla tehtiin kaikille kartonkinäytteille 10 kpl kone- sekä poikkisuuntaiset mittaussarjat nuuttaamattomalle kartongille. Lisäksi tehtiin 10 kpl mittaussarjat jokaisen lajin nuutatuille taittamattomille näytteille.

### **6.2 Murtositkeys**

Murtositkeys määritettiin mittaamalle jokaisesta kartonkilajista 10 kpl sarjat vetolujuuden osalta. Tämän jälkeen määritettiin, samoista testiarkeista leikatuista näytteistä murtositkeys 10 kpl sarjoissa. Kokeet tehtiin sekä ks että ps.

### **6.3 Nuutattavuus**

Kartonkien nuutattavuus määritettiin mittaamalla ensin 10 kpl sarjat nuuttaamattomaan kartonkiin. Seuraavaksi mitattiin, samoista näytekartongeista leikatut ja nuutatut 10 kpl sarjat. Mittaukset tehtiin sekä ks että ps.

## 6.4 Kokoonpuristuvuus

Kartongin bulkkista rakennetta todistava kokoonpuristuvuuden määrittäminen, on tehty mittaamalla sattumanvaraisista kohdista 20 kpl kokoonpuristuvuusmittauksia kaikista lajeista.

## 6.5 Takaisinjoustavuus

Nuuttauksesta taivutetun kappaleen takaisinjoustavuus, on määritetty leikkaamalla testatuista kartonkilajista 5 kpl, 20mm levyisiä näytteitä. Näytteet taivutettiin 90° kulmaan ja vapautettiin. Uudet samanlaiset näytteet taivutettiin 180° kulmaan ja mitattiin näytteiden palautuma asteina.

## 7. Tulosten analysointi

Tässä työssä saavutettiin mittausten perusteella seuraavat tulokset:

### Vetolujuus ja murtositkeys

Kartongin konesuuntainen vetolujuus on suurempi kuin poikkisuuntainen.

Kartonki venyy ennen murtumistaan enemmän ps kuin ks.

Ero johtuu kartongin rakenteesta, koska kuidut ovat suuntautuneet ks.

Nuuttaamaton kartonki on ks mitattujen testien perusteella lujempaa.

PE-päällystetty 255g/m<sup>2</sup> nestepakkauskartonki on 2,5 kertaa vahvempaa ja päällystämättömän 77-215g/m<sup>2</sup> lajin taivekartonki on 1,8 kertaa vahvempaa ks.

Nuutattujen näytteiden analysoinnissa havaittiin seuraavaa: nuuttaus ei vaikuta merkittävästi kartongin vetolujuuden ks ja ps suhteeseen. Kartonki on nuutattuna ks lujempaa. PE-päällystetty on 2,4 kertaa ja päällystämättömän 77-215g/m<sup>2</sup> laji 1,7 kertaa lujempaa. Tuloksissa todistettiin, että nuuttaus aiheuttaa ks epäjatkuvuuskohdan. Näytteet, paitsi PE-päällystetty kartonki, menivät poikki 100% todennäköisyydellä nuuttauksesta vetolujuuskokeessa. PE-päällyste tukee voimakkaasti kartonkia ja on merkittävä osa sen vetolujuutta. Ps ei saatu osoitettua epäjatkuvuuskohdan syntymistä nuuttauksen kohdalle. Ps näytteet menivät rasiittaessa poikki sattumanvaraisesti, eivät nuuttauksesta. Vetolujuuden osalta todetaan, että kartongin lujuuden muodostaa normaaleissa pastapäällystetyissä kartongeissa itse kartongin rakenne ei päällystys.

PE-päällystys lisää huomattavasti lujuuksia. Nuuttaus ei heikennä PE-päällystetyn nestepakkauskartongin lujuuksia merkittävästi. Nuuttauksen kohdalle syntyy epäjatkuvuuskohta, josta testiliuskat murtuvat toistuvasti ks.

Murtositkeysmittausten tulosten analysointi osoitti, että kartonki kestää murtositkeyttä ja rasiitusta paremmin ps. Tako BM1:llä valmistetulle 70-230g/m<sup>2</sup> lajille mitattiin 30% ero lujuudessa ps hyväksi. 48-315g/m<sup>2</sup> laji joka oli valmistettu keväällä 2009 antoi mittauksissa 31% paremman murtositkeyden ks. PE-päällystetty StoraEnson 255g/m<sup>2</sup> kartonki oli 3% vahvempaa ps.

Loppulausuma murtositkeyden osalta. Kartonki kestää pääsääntöisesti paremmin murtositkeyttä ps. Ero kapenee raskailla neliömassoilla ps ja ks välillä. PE-päällystyksellä ero kääntyy ks eduksi. Erot ovat yleisesti pieniä ks ja ps välillä.

**Nuutattavuus**

Taivekartongin taivuttamiseen vaadittava voima kasvaa jyrkästi neliömassan kasvaessa. Nuuttaamaton 315g/m<sup>2</sup> taivekartonkinäyte vaatii ks 2,5 kertaisen voiman taivuttamiseen 200g/m<sup>2</sup> kartonkiin verrattuna. Ps ero on noin 2,0 kertainen. Ero pienenee verrattaessa nuutattuja näytteitä, ollen ks 2,0 kertainen ja ps 1,5 kertainen. Nuuttiura helpottaa sitä enemmän kartongin taittamista, mitä paksumpaa kartonki on. Nuutatun ja nuuttaamattoman näytteen ero taivutusvoimassa vaihteli 2,0 kertaisesta 4,0 kertaiseen eroon taivutettaessa 315g/m<sup>2</sup> kartonkia ks.

Palautuminen taittamisen jälkeen. Havaitaan, että kaikki lajit palautuivat ks. tehdyn taitoksen jälkeen vähemmän suoriksi. Pitkäkuituisesta massasta tehty sisäkerros murtuu sitä taivutettaessa niin, että syntyy plastinen muodonmuutos. Työssä kerrottiin aiemmin (sivu 27), koteloaihiot suunnataan niin, että pitkät nuuttaukset tulee kartonkiin ks. Tutkimuksessa ei syvennytty kotelovalmistukseen niin tarkasti, että olisi saatu varmuus vaikeuttaako ps voimakkaampi oikenema kotelonvalmistusta.

Loppulausuma nuutattavuudesta. Taivekartonkeja käsiteltäessä ja kotelaita valmistettaessa nuuttauksen käyttö on välttämätöntä. Kartonki taittuu siististi ja huomattavasti pienemmällä voimalla nuutattuna. Kartonki palautuu enemmän ps taittamisen jälkeen. Pidemmät nuuttaukset tulee koteloaihioihin ks.

Kotelovalmistuksessa ps palautuma on ratkaistu lisäämällä taitokseen ennakkoa ps.

### **Kartongin ikä ja päällystys**

Kun verrataan päällystettyä ja päällystämätöntä taivekartonkia, havaitaan seuraavaa. Kartongin perusrakenne antaa lujuudet. Pastapäällystys ei paranna kartongin lujuuksia merkittävästi. Päällystys parantaa ohuen, nuuttaamattoman kartonkinäytteen taivutusjäykkyyttä merkittävästi.

PE-päällystyksessä pintaan applikoitu vahva muovikalvo lisää kartongin lujuutta huomattavasti. Kalvo parantaa merkittävästi StoraEnson 255g/m<sup>2</sup> lajin lujuuksia.

Tarkasteltaessa tuloksia kahden samanlaisen 200g/m<sup>2</sup> lajin kesken, jotka on ajettu eri koneilla havaitaan, että erot mittausten välillä ovat hyvin pieniä. Ei pystytäkään osoittamaan eroa kartonkien BM1 ja BM3 välillä vaikka koneiden tuotantomäärissä on merkittävä ero. Ainoa merkittävä ero oli suurempi ks ja ps näytteiden ero nuutattavuudessa, valmistettuna hitaammalla BM3:lla. Tästä päätellään, että nopeammalla BM1:llä kuituorientaatio on korostuneemmin ks.

Kartongissa tapahtuu kypsymistä varastoinnin aikana. Verrattaessa vuonna 2007 ja v. 2009 valmistettua samanlaista kartonkia havaitaan, että kartongista tulee joustamattomampaa. Kartongin jäykkyys kasvaa hieman. Merkittävin ero on murtositkeydessä. Tuore kartonki on lujempaa murtositkeydeltään. Lajilla 70-215g/m<sup>2</sup> CX todistettiin merkittävä 20% ero nuutattavuudessa. Vuonna 2007 valmistettu kartonki oli jäykempää taivutettaessa.

Taivuttelukokeessa havaittiin merkittävä ero vuonna 2007 ja 2009 valmistettujen kartonkien välillä. Vuoden 2009 kartonki oli kimmoisampaa ja joustavaa. Vuonna 2007 valmistettu 315g/m<sup>2</sup> kartonki murtui sitä 180° taitettaessa kuuluvasti ja sormin tuntuvasti. Vanhempi kartonki ei palautunut taitoksen jälkeen yhtä paljoa tuoreeseen verrattuna. Tätä voidaan pitää positiivisena kotelovalmistuksen kannalta.

## **Kokoonpuristuvuus**

Kartongin pinnan kokoonpuristuvuutta määritettäessä Bendtsen -mittarilla havaittiin, että ainoat luotettavat tulokset saatiin lajeille PE-päällystetty nestepakkauskartonki ja päällystämättömän taivekartonki. Niiden pinta painui selvästi kasaan mittauksissa. PE-päällystetty 255g/m<sup>2</sup> lajin pinta tiivistyi noin 2,0 kertaa sileämmäksi. Päällystämättömällä lajilla 77-215g/m<sup>2</sup> pinnasta tuli 1,5 kertaa tiiviimpää.

Loppulausuntona kokoonpuristuvuudesta. Bendtsen -karheusmittaus ei ole riittävän tarkka tapa määrittää kiiltävän ja pinnaltaan tiiviin taivekartongin kokoonpuristuvuutta.

## **8. Lähteet**

### **8.1 Painetut lähteet**

Joel Grönstrand – Hannu Karhuketo – Tage Törn, Paperin ja Kartongin jalostus, Gummerus Kirjapaino OY, v.2002, 208 s.

Dennis Hine, Cartons and Cartonning, T J International Padstow Cornwall, v. 1999, 382 s.

Herbert Holik (editor), Handbook of Paper and Board, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, v. 2006, 505 s.

Michael Kouris (editor, third edition), Pulp and Paper Manufacture, TAPPI CPPA, v. 1990, 386 s.

Jurkka Kuusipalo, Paper and Paperboard Converting, Gummerus Oy, Jyväskylä, v. 2006, 346 s.

## 8.2 Sähköiset lähteet

<http://www.bioscience.org/2004/v9/af/1313/fig7.jpg>

linkkiin viitattu 22.3, kuva kuituorientaatiosta.

<http://nww.evtek.fi/n/penttiv/pakkaus/uki.pdf>

linkkiin viitattu 19.3.2009, koostettaessa teoriaosuutta.

[www.grafitrio.com](http://www.grafitrio.com)

linkkiin viitattu 22.3 kuvia nuuttauslaitteista.

[http://www.ims.tut.fi/vmv/2004/vmv\\_4\\_4\\_2.php](http://www.ims.tut.fi/vmv/2004/vmv_4_4_2.php). linkkiin viitattu 4.4.2009,

vetolujuuden määrittäminen.

[www.knowpap.com](http://www.knowpap.com)

2/2009 – 5/2009 linkkistä saatu tukea kirjallisen osuuden koostamisessa.

<http://www.lorentzen-wettre.com/bprod/prod.cfm?prodid=1640&ptyp=11>, linkkiin

viitattu 10.4.2009 laboratorio mittalaitteiden standardit.

<http://www.packma.fi/kanaalinmitoitus.htm>

linkkiin viitattu 18.3.2009, kuvia nuuttauksesta.

<http://puukemia.tkk.fi/fi/opinnot/kurssit/19-1000/luennot/L13.pdf> linkkiin viitattu

4.4.2009, vetolujuuden määrittäminen

[http://www.sidose.fi/index.php?option=com\\_content&task=view&id=221&Itemid=269](http://www.sidose.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=221&Itemid=269)

linkkiin viitattu 19.3.2009, Sidose C 400 nuuttauskone.



[http://www.technifold.co.uk/clientfiles/Image/sappi\\_paper\\_extract1.jpg](http://www.technifold.co.uk/clientfiles/Image/sappi_paper_extract1.jpg), linkkiin viitattu 26.2.2009 kuva 1 ja kuva 2. nuuttauksesta.

[http://www.technifold.co.uk/clientfiles/Image/creased\\_close\\_up.jpg](http://www.technifold.co.uk/clientfiles/Image/creased_close_up.jpg), linkkiin viitattu 26.2.2009, kuva 3. lähikuva laminoituneesta kartongista

<http://uk.a2yes.com/>, linkkiin viitattu 5.4.2009 nuuttaus työkalujen dimensioita.

### **8.3 Muut lähteet**

Lorentzen&Wettren taivutusvastus -mittarin käyttöohje pdf. tiedostona.  
Saatu käyttöön e-mailina laboratoriomestari Tiina Kolari-Vuorion kautta valmistajalta Lorentzen&Wettreltä, tueksi liitteeni nro 1. Lorentzen&Wettre käyttöohjeen koostamiseen.

Lorentzen&Wettre vetolujuus ja murtositkeys -mittarin käyttöohje TAMK:n paperilaboratoriossa.

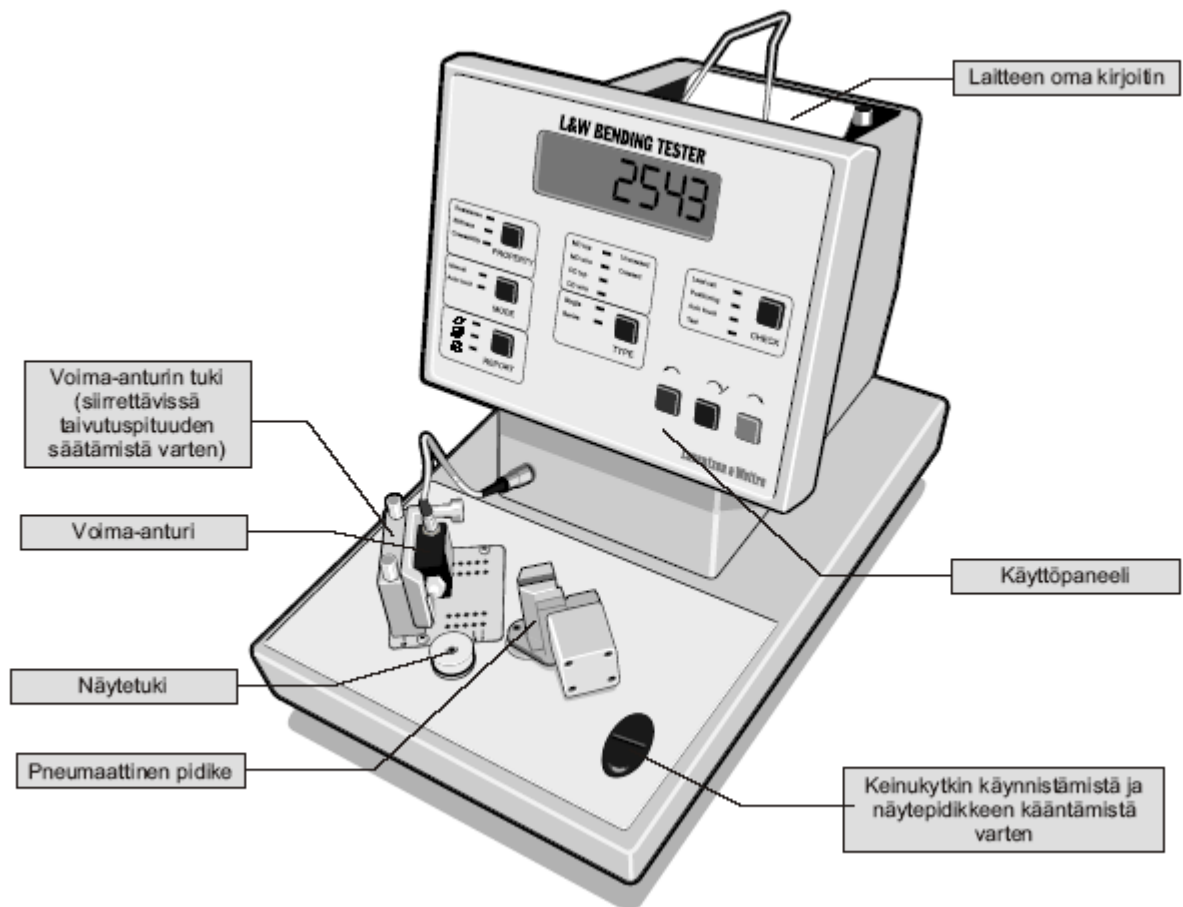
Lorentzen&Wettre pinnankarheus ja kokoonpuristuvuus -mittarin käyttöohje TAMK:n paperilaboratoriossa.

### **9. Liitteet**

Liite 1, TAMK:n paperilaboratorioon pikaohje Lorentzen&Wettren taivutusvastus -mittarille nuuttauksen määrittämiseen.

Liite 2, kokeellisen osuuden mittausten testitulosten printit kuvattuina.

Liite 3, opinnäytetyön laboratoriomittausten laskentaa ja kaavioita.

**Lorentzen & Wettre taivutusvastus -mittarin käyttöohje**

### **Yleistä asiaa mittauksista**

Lorentzen & Wettren valmistama, TAMK:n paperilaboratorion kosteushuoneessa sijaitseva mittari on suunniteltu kartonki- ja paperitestipaloista tehtävien mittapalojen mittaukseen. Laitteella on **ehdottomasti kiellettyä** mitata muita materiaaleja, kuten esim. jäykkiä muovikappaleita, metalliliuskoja, tms. Tällaisten jäykkien testikappaleiden mittaus **vaurioittaa mittalaitetta!**

Laitteella voidaan määrittää mitattavasta kappaleesta: Taivutusvastus (*resistance*), taivutusjäykkyys (*stiffness*), sekä nuutattavuus (*creasibility*)

Taivutusvastus (*resistance*): Ominaisuus joka ilmaisee kuinka suuri voima vaaditaan testattavana olevan kartongin tai paperin taipumiseen, kun testikappaleen toinen pää on kiinnitetty kiinteästi leukojen väliin ja liikkuva mitta-anturi painaa testikappaletta mutkalle. Mittaustulos on vaadittava voima mN:na / suhteessa kappaleen taipumaan asteina°

Taivutusjäykkyys (*stiffness*): Taivutusjäykkyys kertoo samaan tapaan kuin taivutusvastuskin, mittalaitteeseen asetetun standardikokoisen mittakappaleen kykyä vastustaa liikkuvan mitta-anturin voimaa. Mitattavan voiman yksikkö on mNm. L&W:n mittalaite antaa taivutusjäykkyyden tulokseen suoraan numeerisena. Tulos ilmoitetaan mNm:nä Jäykkyyden mittauksessa käytetään joko 5 tai 7.5° taipumaa, näytekappaleen leveys on 38mm.



Nuutattavuus (*creasibility*): Materiaalia, yleensä kartonkia nuutattaessa syntyy kartongin- tai paperin pintaan nuuttiura, jonka tarkoitus on saada kappale kääntymään, taittumaan hallitusti toivotulta kohdalta. Nuuttaus muodostaa ”saranan” kartonkiin. Nuutattavuutta pyrkii vastustamaan kartongin jäykkyys ja kerrosten tosistaan irtoamiseen vaadittava voima. Mittalaitteella suoritettava mittaus vertaa kuinka suuri ero on kartongin taittuessa sen taittumista vastustava voima, nuutattu testikappale vs suora nuuttaamaton kappale.

### Mittauksen valmistelu ja asetukset



Mittaus aloitetaan leikkaamalla laitevalmistajan ohjeiden mukainen testikappale: Leveys 38mm, pituus 80mm. Toleranssin suuruus  $\pm 0,1$ mm.

1. Valitaan haluttu mittaustyyppi. *Property* (ominaisuudet), painiketta painamalla saadaan valituksi: *Resistance* (taivutusvastus), *stiffness* (taivutusjäykkyys), tai *creasability* (nuutattavuus). Valitun mitta-ominaisuuden kohdalla palaa symbolina vihreä valo.
2. Käyttötavan valinta: Tarkasta, että *mode* kohdassa palaa vihreällä led valolla valaistu symboli kohdassa *auto*, tai *manual* toiminto haluamasi käyttötarkoituksen mukaan.
3. Raportointitavan valinta: Valitaan painamalla *report* > Ylin symboli, ”yksi sivu”: tilastoraportti, tuloksesi printataan kun koko mittaussarja suoritettu. Keskimmäinen symboli, ”useita sivuja”: Yksittäiset tulokset printataan välittömästi, täydelliset tilastot tulostetaan mittaussarjan lopuksi. Alin symboli, ”tietokoneen kuva”: Yksittäiset tulokset lähetetään tietokoneelle, mikäli mittariin kytkettynä on tietokone.
4. *Type* painikkeella valitaan joko ”yksittäismittaus, *single*”, jota käytetään yksittäismittauksille kun ei tarvita tietoa konesuunnasta ja poikkisuunnasta, eikä taivutussuunnalla ole merkitystä. Valitse mittaustapa ”sarja, *series*”, kun mitataan konesuuntaan ja poikkisuuntaan otettuja sarjoja sekä ylöspäin ja viiraa kohden taivutettuja näytteitä. Käytetään myös nuutattavuuden mittaukseen.


### Mittaustapahtuma:

1. Varmista ettei tarkastus toiminto *check* ole menossa, kaikkien vihreiden valojen *check* tekstin vieressä tulee olla sammuneena ennen mittauksen aloitusta
2. Varmista että on valittuna haluamasi mittaus- ja raportointitapa. Tee tarvittavat muutokset  
Mikäli mittaus epäonnistuu, se voidaan poistaa. > paina ”nuoli takaisin”  nappia ennen seuraavaa mittauksia. Mikäli haluat poistaa useita mittauksia niin paina useammin  
Jos haluat keskeyttää mittaussarjan ja poistaa kaikki lukemat pidä nuoli takaisin  nappia pohjassa yli 3 sekunnin ajan.

**Yksittäinen taivutusvastus- ja taivutusjäykkyys mittaus:**



1. Varmista että on valittuna, *single* mittaustapa.
2. Sijoita näyte pidikkeeseen tuen päälle.
3. Suorita mittaus valitun käyttötavan mukaisesti, painamalla 
4. Suoritettuasi mittaukset, paina .
5. Laite lopettaa mittauksen ja tulostaa printin.


**Taivutusvastus ja taivutusjäykkyys mittaus-sarja:**


1. Varmista että valittuna on *series* mittaustapa, tästä merkinä mittalaitteessa palavat *Series* ja *MD Top* kohdilla merkkivalot. Sarjamittaus suoritetaan alisarjoina, maksimi on 4 eri alisarjaa. Jokaisesta alisarjasta seuraavaan siirryttäessä painetaan , tämä lopettaa edellisen alisarjan ennen seuraavaa, syttyy *MD wire* symboli.
2. Sijoita ensimmäinen konesuuntainen näyte pidikkeeseen tukea vasten, niin että näytteen yläpuoli osoittaa poispäin voima-anturista. Toista mittaus kaikille alisarjan konesuuntaisille mittauskappaleille.
3. Suorita mittaukset seuraavan alisarjan konesuuntaisille näytteille niin, että tällä kertaa viirapuoli osoittaa poispäin voima-anturista. Lopeta alisarja kuten aiemmin, *CD top* symboli syttyy
4. Jatka mittauksia poikkisuunnan näytteillä niin, että yläpuoli osoittaa ensin poispäin voima-anturista ja sen jälkeen niin, että viirapuoli osoittaa poispäin. Kun viimeinen alisarja on mitattu, kaikista ks ja ps näytteistä tulostetaan loppuraportti.
5. Mikäli olet valinnut taberjäykkyyden ja ks/ps-suhteen raportoinnin, ne tulostetaan loppuraporttiin sisällytettynä.

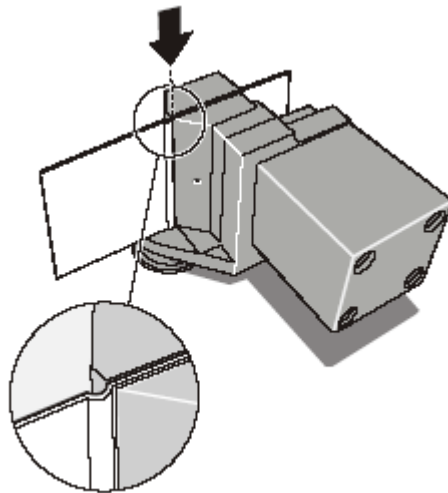
**Nuutattavuus mittaus**




Mittaukset koostuvat yhdestä nuutattujen ja nuuttaamattomien näytteiden alisarjoista.

1. Varmista, että *creasibility* ominaisuus on valittu ja *series* käyttötapa on samoin valittuna
2. Laita ensimmäinen nuuttaamaton näyte pidikkeeseen tukea vasten. Sulje pidike painamalla , aloita mittaus painamalla uudelleen samaa  nappia.

Mittaa kaikki nuuttaamattomat näytteet ja lopeta alisarja painamalla . Aliraportti tulostuu ja syttyy *creased* symboli.

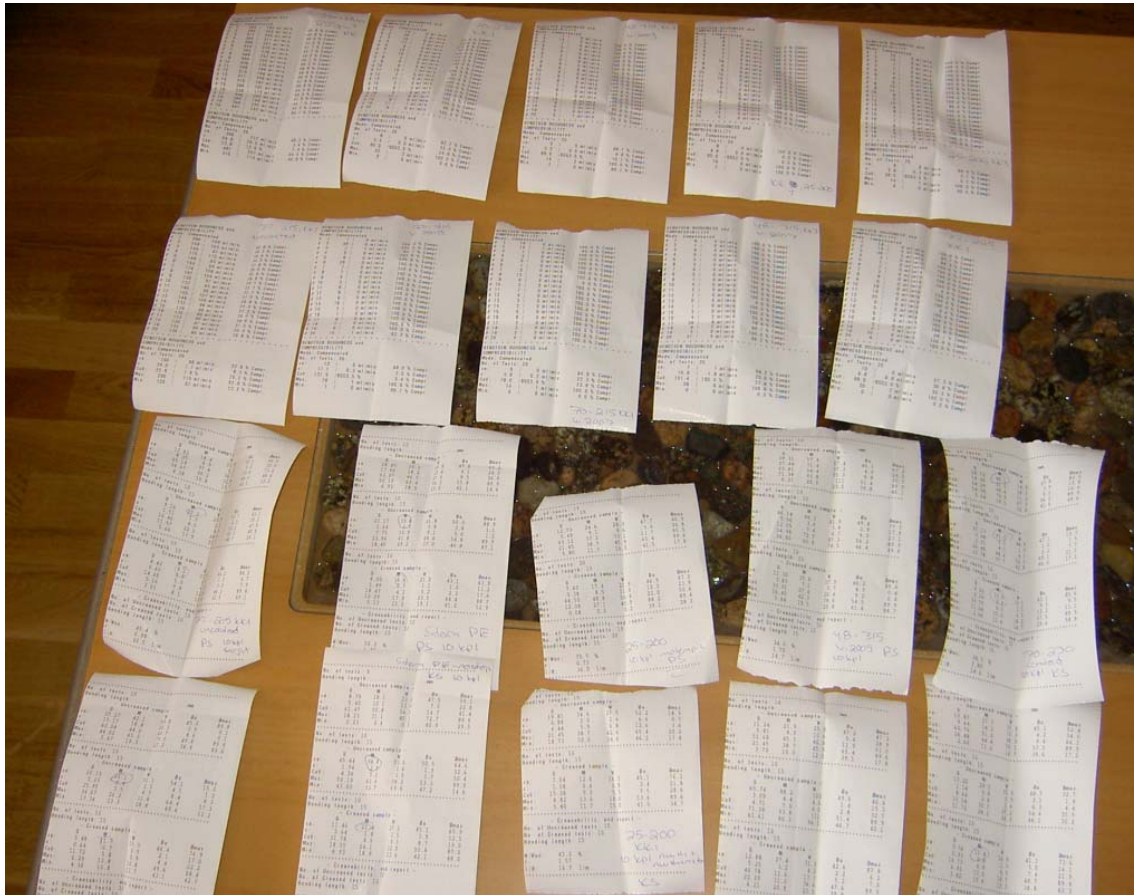
3. Laita ensimmäinen nuutattu näyte pidikkeen tukea vasten, siten että se on mahdollisimman lähellä pidikettä ja yhdensuuntainen pidikkeen kanssa (katso oheinen kuva) Sulje pidike painamalla  nappia.



4. Mikäli näyte menee vinoon pidikkeen sulkeutuessa, vapauta se painamalla  Kohdista näyte uudelleen leukojen väliin ja sulje pidike  napista. Käynnistä mittaus uudelleen  napista.

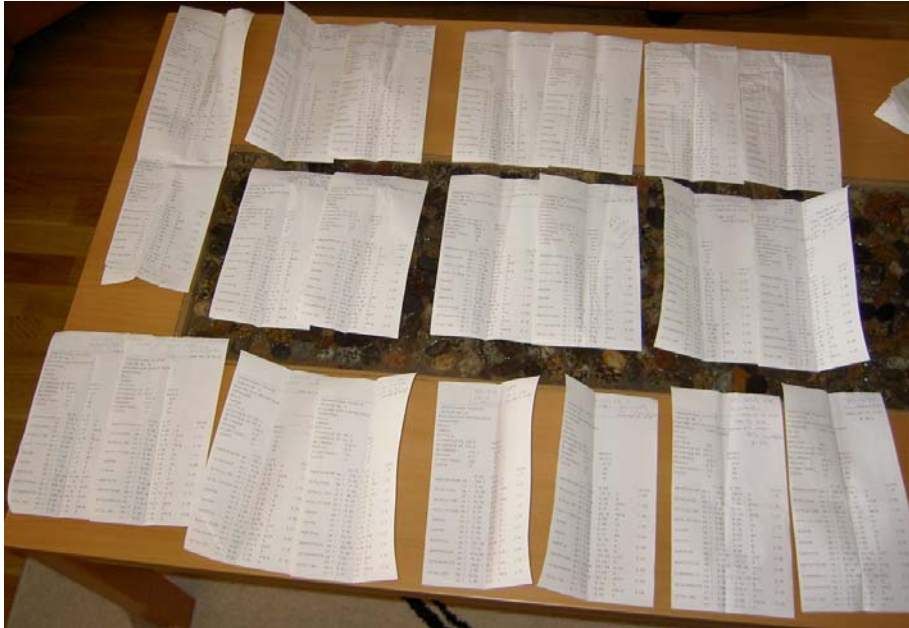
5. Suorita jäljellä olevien nuutattujen näytteiden mittaus. Lopeta mittaussarja. Nuutattujen näytteiden mittaustulokset tulostetaan.

## Valokuvat laboratoriomittausten tulosteista



### Kuvio 1. Mittausten tulosteet





Kuvio 2. Mittausten tulosteet



Kuvio 3. Mittausten tulosteet



Liitteessä 3 on opinnäytetyön laboratoriomittausten laskentaa. Tutkitusta lajista on muodostettu excel-taulukko, siinä on rinnakkain nuuttaamattoman ja nuutatun näytteen erot havainnollisesti nähtävissä vierekkäin.

### **Vetolujuus**

**StoraEnso, PE-päällystetty 255g/m<sup>2</sup> nestepakkauskartonki.** Nuuttaamattomat näytteet

10 kpl sarjat sekä kone- että poikkisuuntaan:

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 382.0 N

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 154.8 N

Kone- ja poikkisuuntaisten näytesarjojen maksimivoimien suhde KS/PS: 2.47

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 2.08 mm

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 5.31mm

Kone- ja poikkisuuntaisten näytteiden venymän suhde KS/PS: 0.39

Murtotyön keskiarvo, xa ennen testiliuskan katkeamista konesuuntaan:	331.39 J/m <sup>2</sup>
Murtotyön keskiarvo, xa ennen testiliuskan katkeamista poikkisuuntaan:	380.99 J/m <sup>2</sup>
Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten voimien suhde:	0.87
Vetolujuuksien keskiarvo, xa konesuuntaan:	25.47 kN/m
Vetolujuuksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan:	10.32 kN/m
Kone- ja poikkisuuntaisten vetolujuuksien suhde:	2.47

**StoraEnso, PE-päällystetty 255g/m<sup>2</sup> nestepakkauskartonki.** Nuutatut näytteet  
10 kpl sarjat sekä kone- että poikkisuuntaan:

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan:	379.6 N
Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan:	159.4 N
Kone- ja poikkisuuntaisten näytesarjojen maksimivoimien suhde KS/PS:	2.38

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan:	2.05 mm
Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan:	5.17mm
Kone- ja poikkisuuntaisten näytteiden venymän suhde KS/PS:	0.40

Murtotyön keskiarvo, xa ennen testiliuskan katkeamista konesuuntaan:	319.68 J/m <sup>2</sup>
Murtotyön keskiarvo, xa ennen testiliuskan katkeamista poikkisuuntaan:	379.54 J/m <sup>2</sup>
Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten voimien suhde:	0.84
Vetolujuuksien keskiarvo, xa konesuuntaan:	25.30 kN/m
Vetolujuuksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan:	10.62 kN/m
Kone- ja poikkisuuntaisten vetolujuuksien suhde:	2.38

Laskennalliset erot nuutatun ja nuuttaamattoman näytesarjan mittauksista:

Maksimivoima ennen murtumista konesuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu:  
382.0 N / 379.6 N > Voimien ero prosentteina, 0.63 %

Maksimivoima ennen murtumista poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu:

154.8 N / 159.4 N > Voimien ero prosentteina, 2.97%

Kone- ja poikkisuuntaisten koesarjojen suhteiden ero nuuttaamaton vs. nuutattu:

2.47 / 2.38 > Suhteiden ero prosentteina: 3.78%

Venymien keskiarvojen erot ennen murtumista konesuuntaan, nuuttaamaton vs.

nuutattu: 2.08 mm / 2.05 mm > Ero prosentteina, 1.46%

Venymien keskiarvojen erot ennen murtumista poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs.

nuutattu: 5.31 mm / 5.17 mm > Ero prosentteina, 2.70 %

Kone- ja poikkisuuntaisten venymien suhde nuuttaamaton ja nuutattu sarja:

0.39 / 0.40 > Ero suhteissa prosentteina, 2.56%

Murtotyöhön vaadittujen voimien keskiarvojen ero konesuuntaan nuuttaamaton vs.

nuutattu: 331.39 J/m<sup>2</sup> / 319.68 J/m<sup>2</sup> > Ero prosentteina, 3.66%

Murtotyöhön vaadittujen voimien keskiarvojen ero poikkisuuntaan nuuttaamaton vs

nuutattu: 380.99 J/m<sup>2</sup> / 379.54 J/m<sup>2</sup> > Ero prosentteina, 0.38%

Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten sarjojen suhteiden ero nuuttaamaton vs.

nuutattu: 0.87 / 0.84 > Suhteiden ero prosentteina, 3.57%

Vetolujuus-sarjojen konesuuntaisten mittausten keskiarvojen erot nuuttaamaton vs.

nuutattu: 25.47 kN/m / 25.30 kN/m > Voimien erot prosenteissa, 0.67 %

Vetolujuus-sarjojen poikkisuuntaisten mittausten keskiarvojen erot nuuttaamaton vs

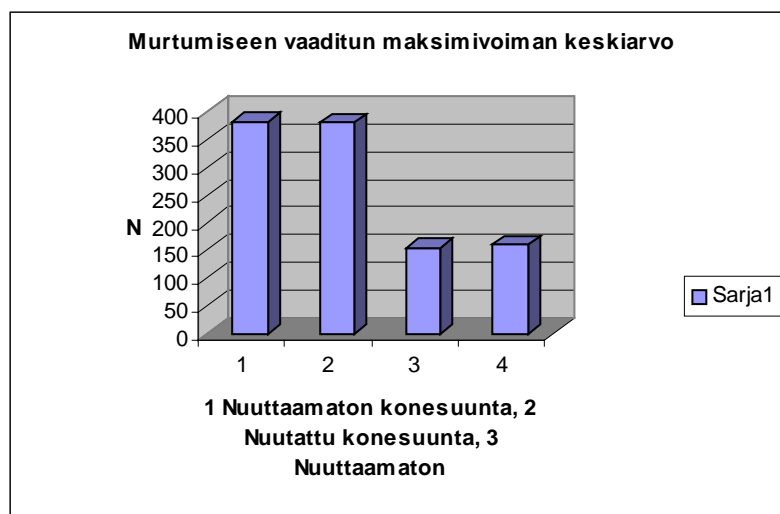
nuutattu: 10.32 kN/m / 10.62 kN/m > Voimien erot prosenteissa, 2.90 %

Vetolujuus-suhteiden erot kone- ja poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu sarja:

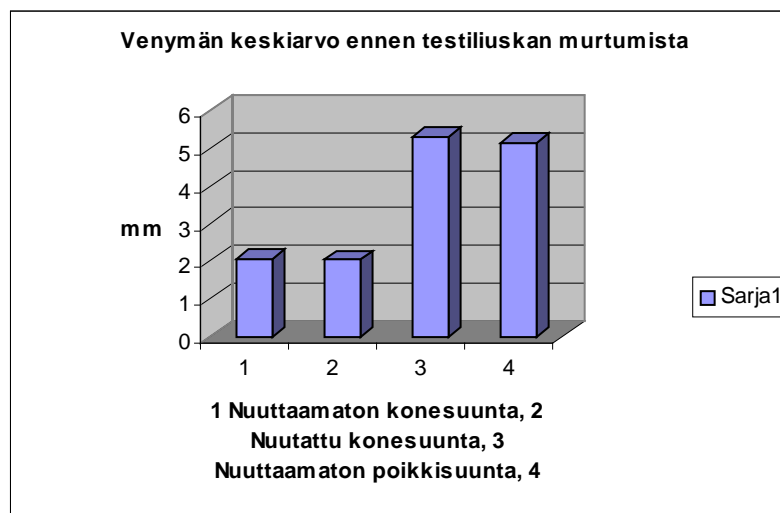
2.47 / 2.38 > Suhteiden ero prosentteina, 3.78%

Nuutattuja näytteitä mitattaessa testiliuskat murtuivat nuuttauksen kohdalta konesuuntaisesti: 10 / 10 > Näytteet murtuivat 100% todennäköisyydellä nuuttauksesta.

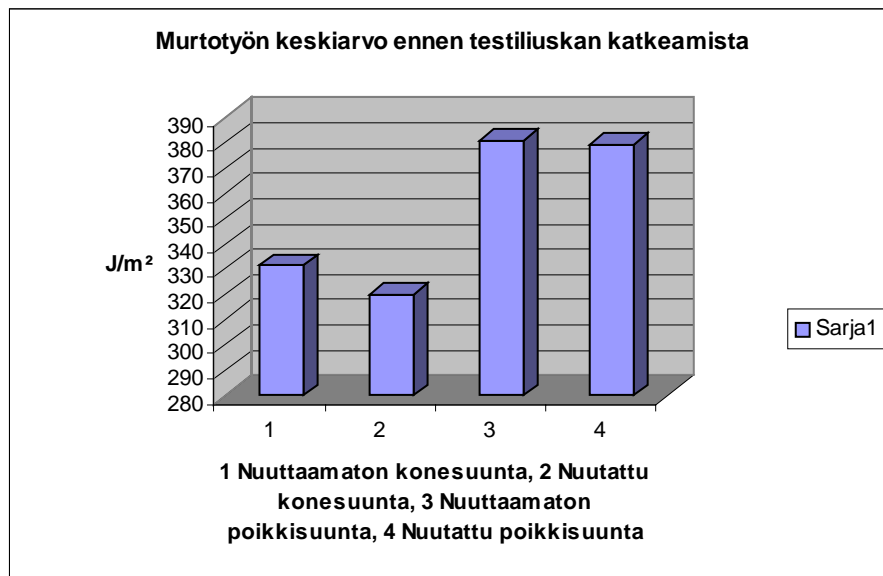
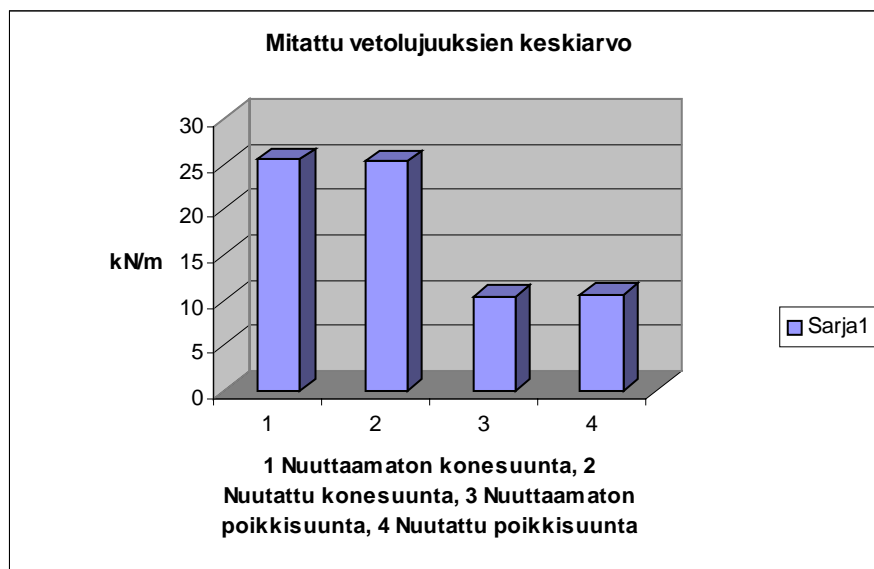
Nuutattuja näytteitä mitattaessa testiliuskat murtuivat nuuttauksen kohdalta poikkisuuntaisesti: 1 / 10 > Näytteet murtuivat 10% todennäköisyydellä nuuttauksesta.



Kuvio 1. StoraEnso PE-päällystetty 255g/m<sup>2</sup>



Kuvio 2. StoraEnso PE-päällystetty 255g/m<sup>2</sup>

Kuvio 3. StoraEnso PE-päällystetty 255g/m<sup>2</sup>Kuvio 4. StoraEnso PE-päällystetty 255g/m<sup>2</sup>

**Tako BM1, 25- 200g/m<sup>2</sup> CX Lite.** Nuuttaamattomat näytteet 10 kpl sarjat sekä kone- että poikkisuuntaan:

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 188.9 N

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 99.5 N

Kone- ja poikkisuuntaisten näytesarjojen maksimivoimien suhde KS/PS: 1.90

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 1.56 mm

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 3.49 mm

Kone- ja poikkisuuntaisten näytteiden venymän suhde KS/PS: 0.45

Murtotyön keskiarvo, xa ennen testiliuskan katkeamista konesuuntaan: 124.44 J/m<sup>2</sup>

Murtotyön keskiarvo, xa ennen testiliuskan katkeamista poikkisuuntaan: 167.35 J/m<sup>2</sup>

Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten voimien suhde: 0.74

Vetolujuuksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 12.59 kN/m

Vetolujuuksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 6.63 kN/m

Kone- ja poikkisuuntaisten vetolujuuksien suhde: 1.90

**Tako BM1, 25-200g/m<sup>2</sup> CX Lite.** Nuutatut näytteet 10 kpl sarjat sekä kone- että poikkisuuntaan:

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 181.0 N

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 98.9 N

Kone- ja poikkisuuntaisten näytesarjojen maksimivoimien suhde KS/PS: 1.83

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 1.46 mm

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 3.48mm

Kone- ja poikkisuuntaisten näytteiden venymän suhde KS/PS: 0.42

Murtotyön keskiarvo, $\alpha$ ennen testiliuskan katkeamista konesuuntaan:	108.64 J/m <sup>2</sup>
Murtotyön keskiarvo, $\alpha$ ennen testiliuskan katkeamista poikkisuuntaan:	164.37 J/m <sup>2</sup>
Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten voimien suhde:	0.66
Vetolujuuksien keskiarvo, $\alpha$ konesuuntaan:	12.06 kN/m
Vetolujuuksien keskiarvo, $\alpha$ poikkisuuntaan:	6.59 kN/m
Kone- ja poikkisuuntaisten vetolujuuksien suhde:	1.83

Laskennalliset erot nuutatun ja nuuttaamattoman näytesarjan mittauksista:

Maksimivoima ennen murtumista konesuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu:

188.9 N / 181.0 N > Voimien ero prosentteina, 4.36%

Maksimivoima ennen murtumista poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu:

99.5 N / 98.9 N > Voimien ero prosentteina, 0.60%

Kone- ja poikkisuuntaisten koesarjojen suhteiden ero nuuttaamaton vs. nuutattu:

1.90 / 1.83 > Suhteiden ero prosentteina: 3.82%

Venymien keskiarvojen erot ennen murtumista konesuuntaan, nuuttaamaton vs.

nuutattu: 1.56 mm / 1.46 mm > Ero prosentteina, 6.85%

Venymien keskiarvojen erot ennen murtumista poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs.

nuutattu: 3.49 mm / 3.48 mm > Ero prosentteina, 0.28 %

Kone- ja poikkisuuntaisten venymien suhde nuuttaamaton ja nuutattu sarja:

0.45 / 0.42 > Ero suhteissa prosentteina, 7.14%

Murtotyöhön vaadittujen voimien keskiarvojen ero konesuuntaan nuuttaamaton vs.

nuutattu: 124.44 J/m<sup>2</sup> / 108.64 J/m<sup>2</sup> > Ero prosentteina, 14.54%

Murtotyöhön vaadittujen voimien keskiarvojen ero poikkisuuntaan nuuttaamaton vs nuutattu:  $167.35 \text{ J/m}^2 / 164.37 \text{ J/m}^2 >$  Ero prosentteina, 1.81%

Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten sarjojen suhteiden ero nuuttaamaton vs. nuutattu:  $0.74 / 0.66 >$  Suhteiden ero prosentteina, 12.12%

Vetolujuus-sarjojen konesuuntaisten mittausten keskiarvojen erot nuuttaamaton vs. nuutattu:  $12.59 \text{ kN/m} / 12.06 \text{ kN/m} >$  Voimien erot prosenteissa, 4.39 %

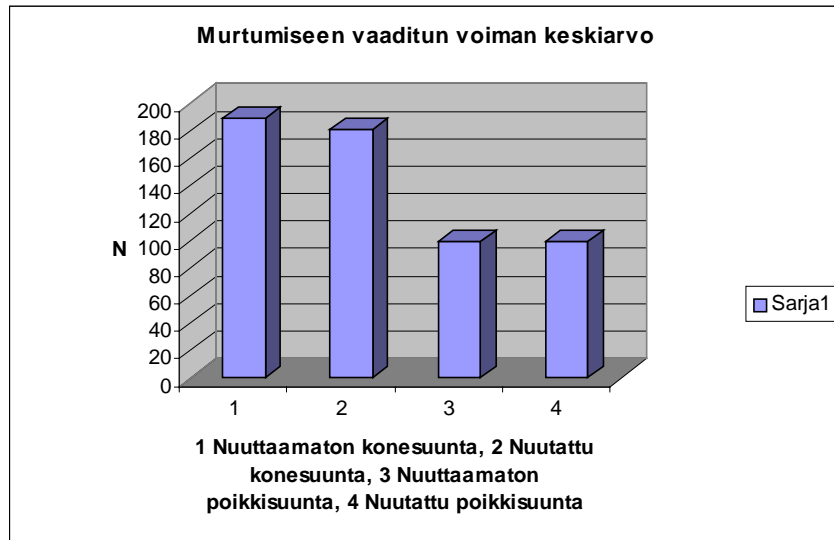
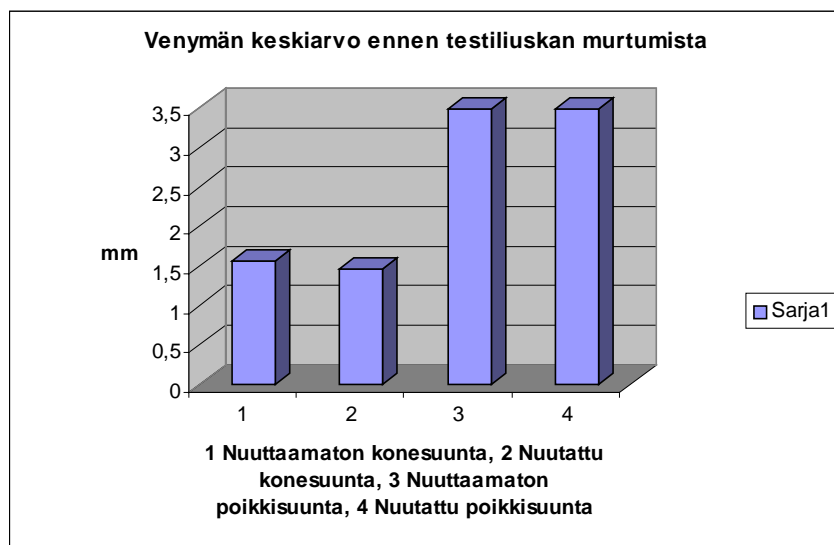
Vetolujuus-sarjojen poikkisuuntaisten mittausten keskiarvojen erot nuuttaamaton vs nuutattu:  $6.63 \text{ kN/m} / 6.59 \text{ kN/m} >$  Voimien erot prosenteissa, 0.61 %

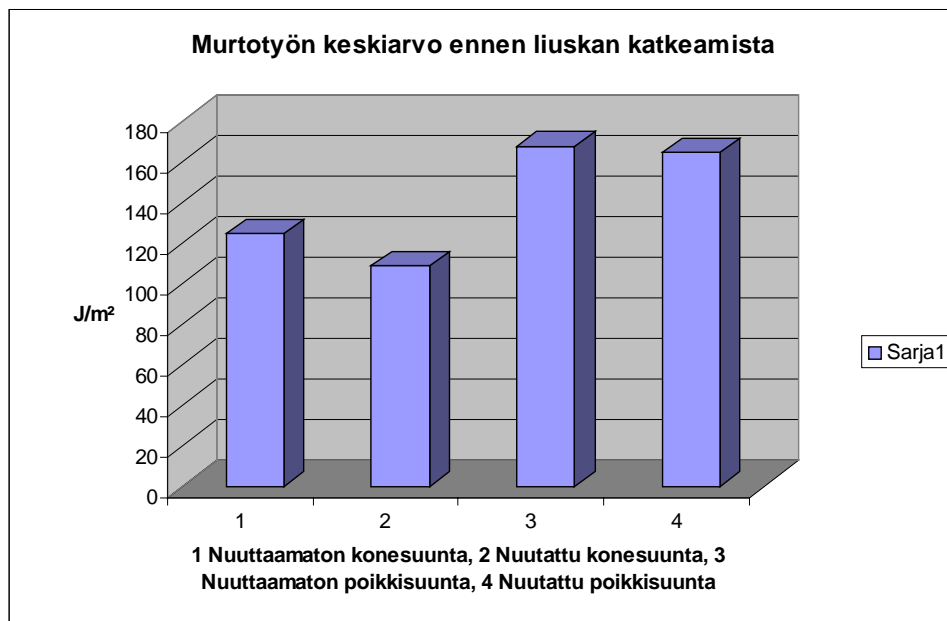
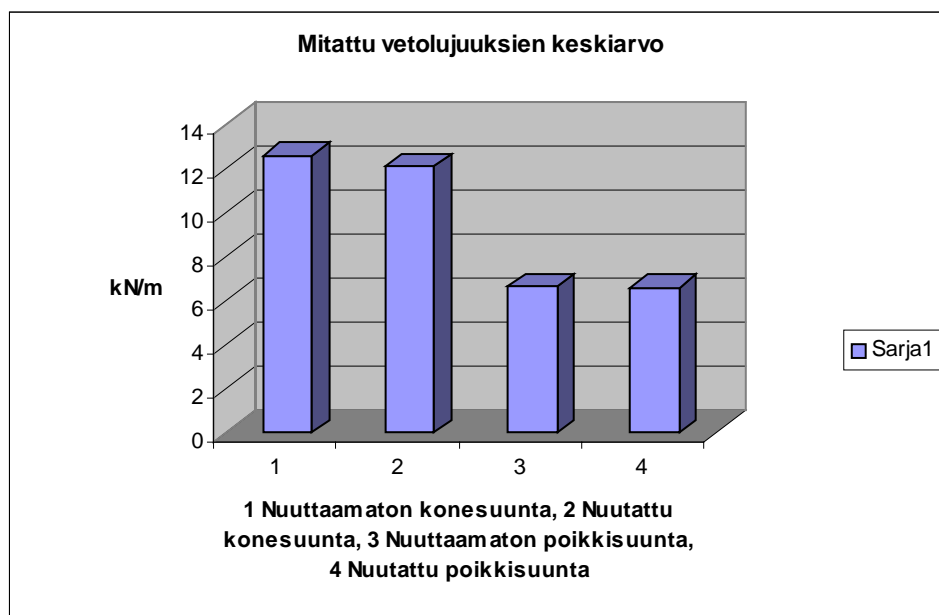
Vetolujuus-suhteiden erot kone- ja poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu sarja:  $1.90 / 1.83 >$  Suhteiden ero prosentteina, 3.83%

Nuutattuja näytteitä mitattaessa testiliuskat murtuivat nuuttauksen kohdalta konesuuntaisesti:  $10 / 10 >$  Näytteet murtuivat 100% todennäköisyydellä nuuttauksesta.

Nuutattuja näytteitä mitattaessa testiliuskat murtuivat nuuttauksen kohdalta poikkisuuntaisesti:  $1 / 10 >$  Näytteet murtuivat 10% todennäköisyydellä nuuttauksesta.



Kuvio 5. Tako BM1, 25-200g/m<sup>2</sup> CX LiteKuvio 6. Tako BM1, 25-200g/m<sup>2</sup> CX Lite

Kuvio 7. Tako BM1, 25-200g/m<sup>2</sup> CX LiteKuvio 8. Tako BM1, 25-200g/m<sup>2</sup> CX Lite

**Tako BM3, 48-315g/m<sup>2</sup>, valmistettu v. 2009.** Nuuttaamattomat näytteet 10 kpl sarjat sekä kone- että poikkisuuntaan:

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 248.7 N

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 140.9 N

Kone- ja poikkisuuntaisten näytesarjojen maksimivoimien suhde KS/PS: 1.77

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 1.30 mm

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 3.48 mm

Kone- ja poikkisuuntaisten näytteiden venymän suhde KS/PS: 0.37

Murtotyön keskiarvo, xa ennen testiliuskan katkeamista konesuuntaan: 131.88 J/m<sup>2</sup>

Murtotyön keskiarvo, xa ennen testiliuskan katkeamista poikkisuuntaan: 233.49 J/m<sup>2</sup>

Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten voimien suhde: 0.56

Vetolujuuksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 16.58 kN/m

Vetolujuuksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 9.39 kN/m

Kone- ja poikkisuuntaisten vetolujuuksien suhde: 1.77

**Tako BM3, 48-315g/m<sup>2</sup>, valmistettu v. 2009.** Nuutatut näytteet 10 kpl sarjat sekä kone- että poikkisuuntaan:

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 218.8 N

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 137.9 N

Kone- ja poikkisuuntaisten näytesarjojen maksimivoimien suhde KS/PS: 1.59

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 1.09 mm

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 2.77mm

Kone- ja poikkisuuntaisten näytteiden venymän suhde KS/PS: 0.39

Murtotyön keskiarvo, $\alpha$ ennen testiliuskan katkeamista konesuuntaan:	91.19 J/m <sup>2</sup>
Murtotyön keskiarvo, $\alpha$ ennen testiliuskan katkeamista poikkisuuntaan:	173.85 J/m <sup>2</sup>
Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten voimien suhde:	0.52
Vetolujuuksien keskiarvo, $\alpha$ konesuuntaan:	14.59 kN/m
Vetolujuuksien keskiarvo, $\alpha$ poikkisuuntaan:	9.19 kN/m
Kone- ja poikkisuuntaisten vetolujuuksien suhde:	1.59

Laskennalliset erot nuutatun ja nuuttaamattoman näytesarjan mittauksista:

Maksimivoima ennen murtumista konesuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu:

248.7 N / 218.8 N > Voimien ero prosentteina, 13.67%

Maksimivoima ennen murtumista poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu:

140.9 N / 137.9 N > Voimien ero prosentteina, 2.18%

Kone- ja poikkisuuntaisten koesarjojen suhteiden ero nuuttaamaton vs. nuutattu:

1.77 / 1.59 > Suhteiden ero prosentteina: 11.32%

Venymien keskiarvojen erot ennen murtumista konesuuntaan, nuuttaamaton vs.

nuutattu: 1.30 mm / 1.09 mm > Ero prosentteina, 19.27%

Venymien keskiarvojen erot ennen murtumista poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs.

nuutattu: 3.48 mm / 2.77 mm > Ero prosentteina, 25.63 %

Kone- ja poikkisuuntaisten venymien suhde nuuttaamaton ja nuutattu sarja:

0.37 / 0.39 > Ero suhteissa prosentteina, 5.40%

Murtotyöhön vaadittujen voimien keskiarvojen ero konesuuntaan nuuttaamaton vs.

nuutattu: 131.88 J/m<sup>2</sup> / 91.19 J/m<sup>2</sup> > Ero prosentteina, 44.62%

Murtotyöhön vaadittujen voimien keskiarvojen ero poikkisuuntaan nuuttaamaton vs nuutattu:  $233.49 \text{ J/m}^2 / 173.85 \text{ J/m}^2 >$  Ero prosentteina, 34.31%

Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten sarjojen suhteiden ero nuuttaamaton vs. nuutattu:  $0.56 / 0.52 >$  Suhteiden ero prosentteina, 7.70%

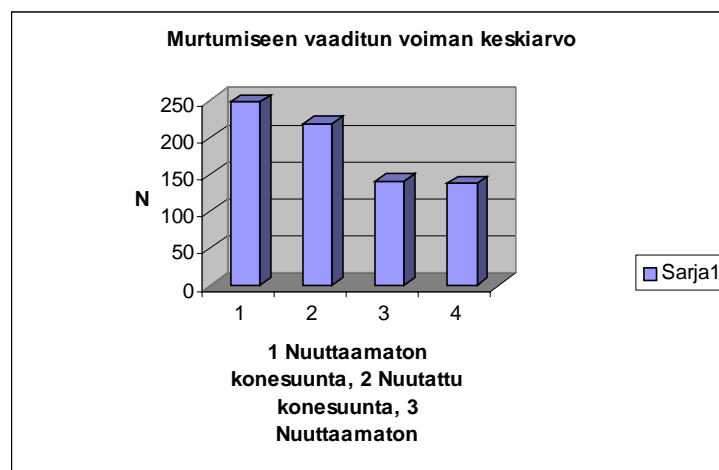
Vetolujuus-sarjojen konesuuntaisten mittausten keskiarvojen erot nuuttaamaton vs. nuutattu:  $16.58 \text{ kN/m} / 14.59 \text{ kN/m} >$  Voimien erot prosenteissa, 13.64 %

Vetolujuus-sarjojen poikkisuuntaisten mittausten keskiarvojen erot nuuttaamaton vs nuutattu:  $9.39 \text{ kN/m} / 9.19 \text{ kN/m} >$  Voimien erot prosenteissa, 2.18 %

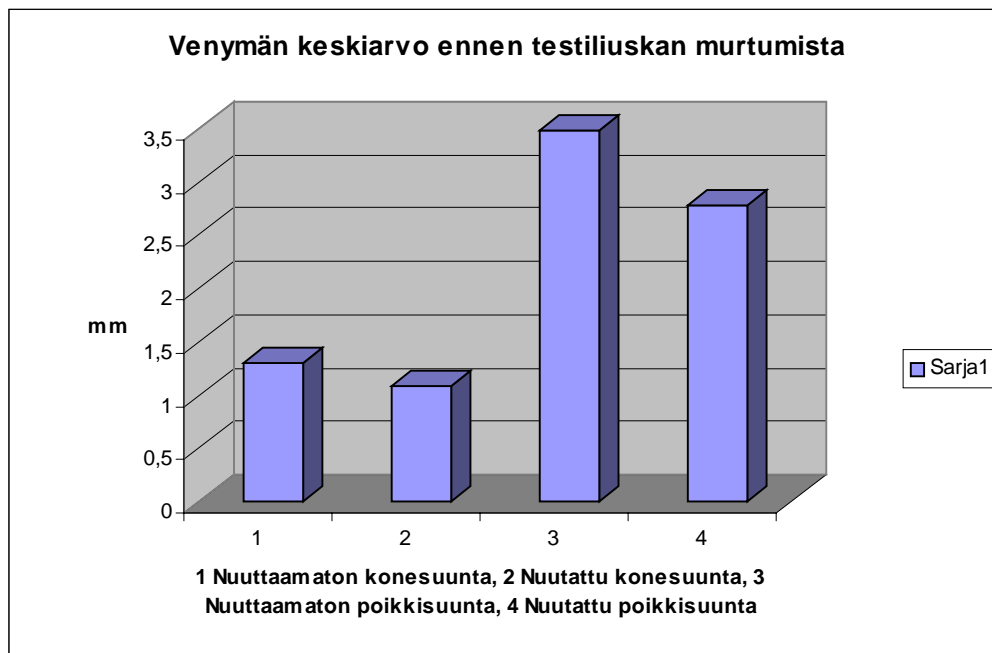
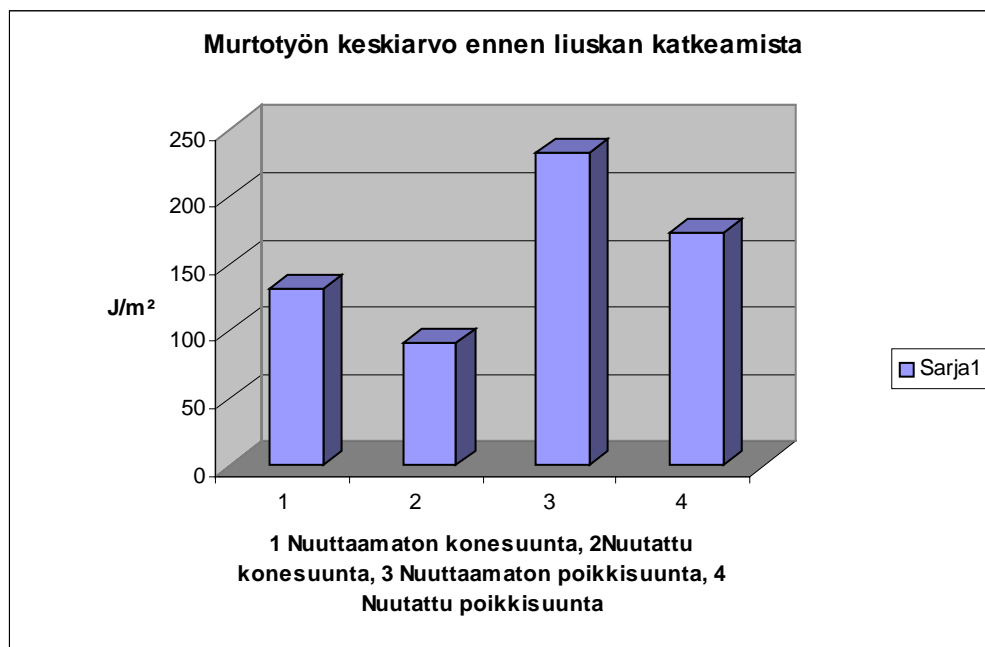
Vetolujuus-suhteiden erot kone- ja poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu sarja:  $1.77 / 1.59 >$  Suhteiden ero prosentteina, 11.32%

Nuutattuja näytteitä mitattaessa testiliuskat murtuivat nuuttauksen kohdalta konesuuntaisesti:  $10 / 10 >$  Näytteet murtuivat 100% todennäköisyydellä nuuttauksesta.

Nuutattuja näytteitä mitattaessa testiliuskat murtuivat nuuttauksen kohdalta poikkisuuntaisesti:  $1 / 10 >$  Näytteet murtuivat 10% todennäköisyydellä nuuttauksesta.



Kuvio 9. Tako BM3, 48-315g/m<sup>2</sup>, valmistettu v. 2009

Kuva 10. Tako BM3, 48-315g/m<sup>2</sup>, tuotettu v. 2009Kuvio 11. Tako BM3, 48-315g/m<sup>2</sup>, valmistettu v. 2009



Kuvio 12. Tako BM3, 48-315g/m<sup>2</sup>, valmistettu v. 2009

**Tako BM1, 70-230g/m<sup>2</sup> CX.** Nuuttaamattomat näytteet 10 kpl sarjat sekä kone- että poikkisuuntaan:

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan:	196.6 N
Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan:	109.1 N
Kone- ja poikkisuuntaisten näytesarjojen maksimivoimien suhde KS/PS:	1.80

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan:	1.64 mm
Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan:	3.85 mm
Kone- ja poikkisuuntaisten näytteiden venymän suhde KS/PS:	0.43

Murtotyön keskiarvo, xa ennen testiliuskan katkeamista konesuuntaan:	139.63 J/m <sup>2</sup>
Murtotyön keskiarvo, xa ennen testiliuskan katkeamista poikkisuuntaan:	202.52 J/m <sup>2</sup>
Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten voimien suhde:	0.69

Vetolujuuksien keskiarvo, xa konesuuntaan:	13.11 kN/m
Vetolujuuksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan:	7.27 kN/m
Kone- ja poikkisuuntaisten vetolujuuksien suhde:	1.80

**Tako BM1, 70-230g/m<sup>2</sup> CX.** Nuutatut näytteet 10 kpl sarjat sekä kone- että poikkisuuntaan:

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan:	189.3 N
Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan:	108.5 N
Kone- ja poikkisuuntaisten näytesarjojen maksimivoimien suhde KS/PS:	1.75

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan:	1.49 mm
Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan:	3.53mm
Kone- ja poikkisuuntaisten näytteiden venymän suhde KS/PS:	0.42



Murtotyön keskiarvo, $\alpha$ ennen testiliuskan katkeamista konesuuntaan:	117.90 J/m <sup>2</sup>
Murtotyön keskiarvo, $\alpha$ ennen testiliuskan katkeamista poikkisuuntaan:	181.92 J/m <sup>2</sup>
Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten voimien suhde:	0.65
Vetolujuuksien keskiarvo, $\alpha$ konesuuntaan:	12.62 kN/m
Vetolujuuksien keskiarvo, $\alpha$ poikkisuuntaan:	7.23 kN/m
Kone- ja poikkisuuntaisten vetolujuuksien suhde:	1.75

Laskennalliset erot nuutatun ja nuuttaamattoman näytesarjan mittauksista:

Maksimivoima ennen murtumista konesuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu:

196.6 N / 189.3 N > Voimien ero prosentteina, 3.86%

Maksimivoima ennen murtumista poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu:

109.1 N / 108.5 N > Voimien ero prosentteina, 0.55%

Kone- ja poikkisuuntaisten koesarjojen suhteiden ero nuuttaamaton vs. nuutattu:

1.80 / 1.75 > Suhteiden ero prosentteina: 2.86%

Venymien keskiarvojen erot ennen murtumista konesuuntaan, nuuttaamaton vs.

nuutattu: 1.64 mm / 1.49 mm > Ero prosentteina, 10.07%

Venymien keskiarvojen erot ennen murtumista poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs.

nuutattu: 3.85 mm / 3.53 mm > Ero prosentteina, 9.07%

Kone- ja poikkisuuntaisten venymien suhde nuuttaamaton ja nuutattu sarja:

0.43 / 0.42 > Ero suhteissa prosentteina, 2.38%

Murtotyöhön vaadittujen voimien keskiarvojen ero konesuuntaan nuuttaamaton vs.

nuutattu: 139.63 J/m<sup>2</sup> / 117.90 J/m<sup>2</sup> > Ero prosentteina, 18.43%

Murtotyöhön vaadittujen voimien keskiarvojen ero poikkisuuntaan nuuttaamaton vs nuutattu:  $202.52 \text{ J/m}^2 / 181.92 \text{ J/m}^2 >$  Ero prosentteina, 11.32%

Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten sarjojen suhteiden ero nuuttaamaton vs. nuutattu:  $0.69 / 0.65 >$  Suhteiden ero prosentteina, 6.15%

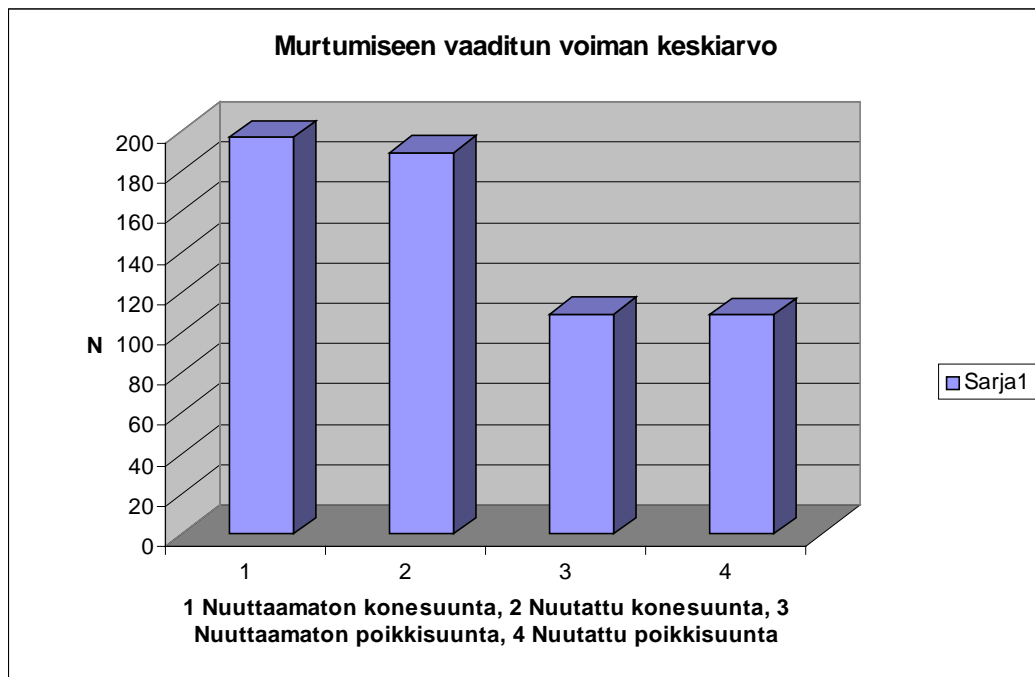
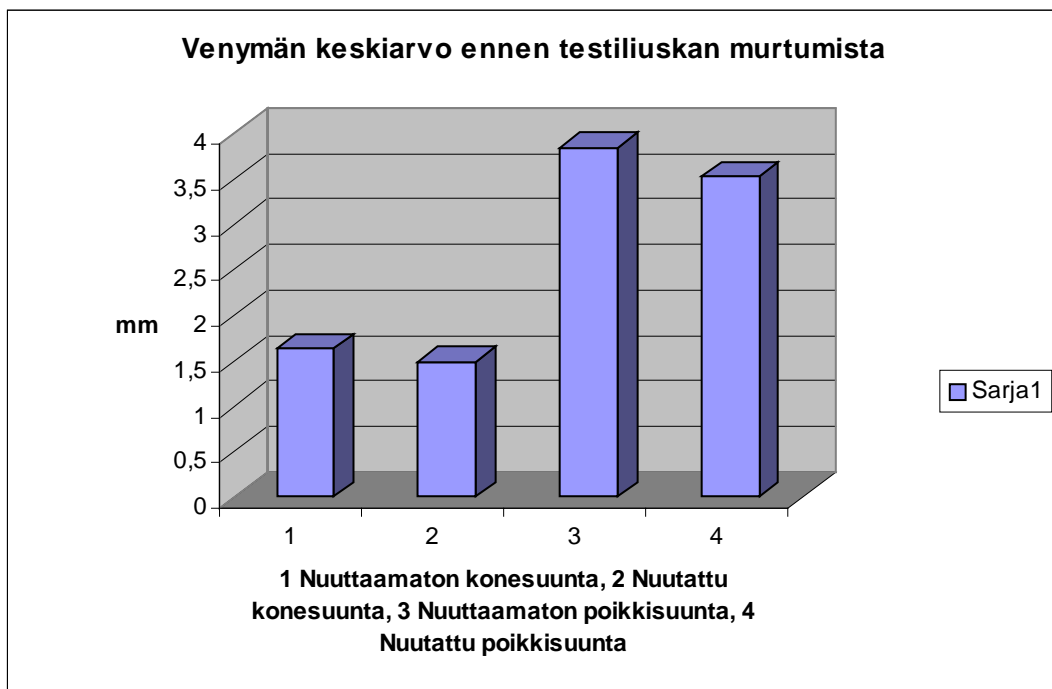
Vetolujuus-sarjojen konesuuntaisten mittausten keskiarvojen erot nuuttaamaton vs. nuutattu:  $13.11 \text{ kN/m} / 12.62 \text{ kN/m} >$  Voimien erot prosenteissa, 3.88%

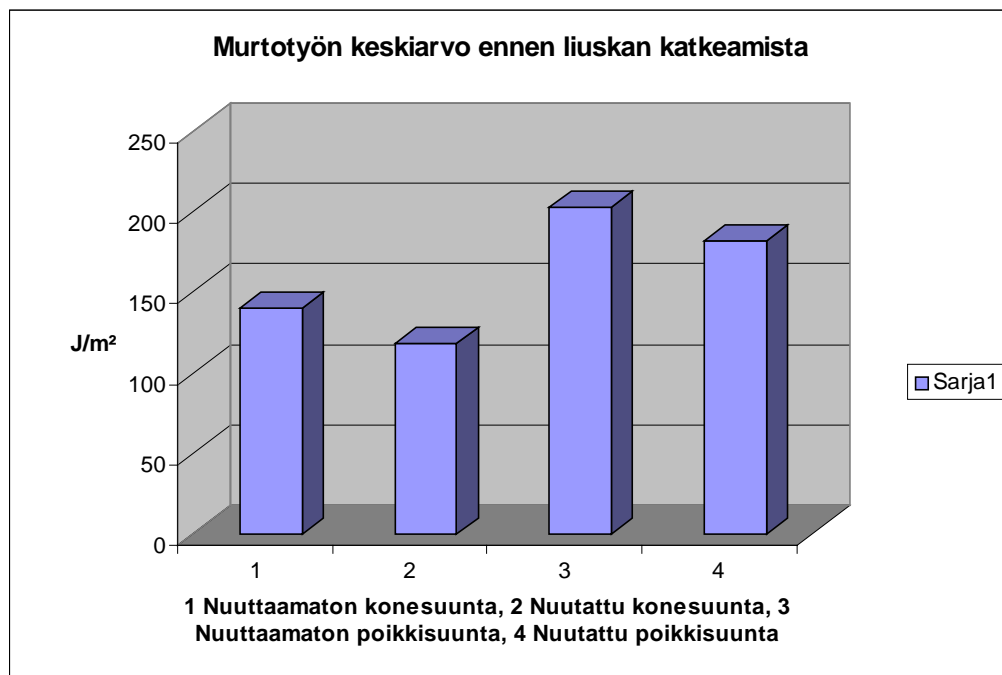
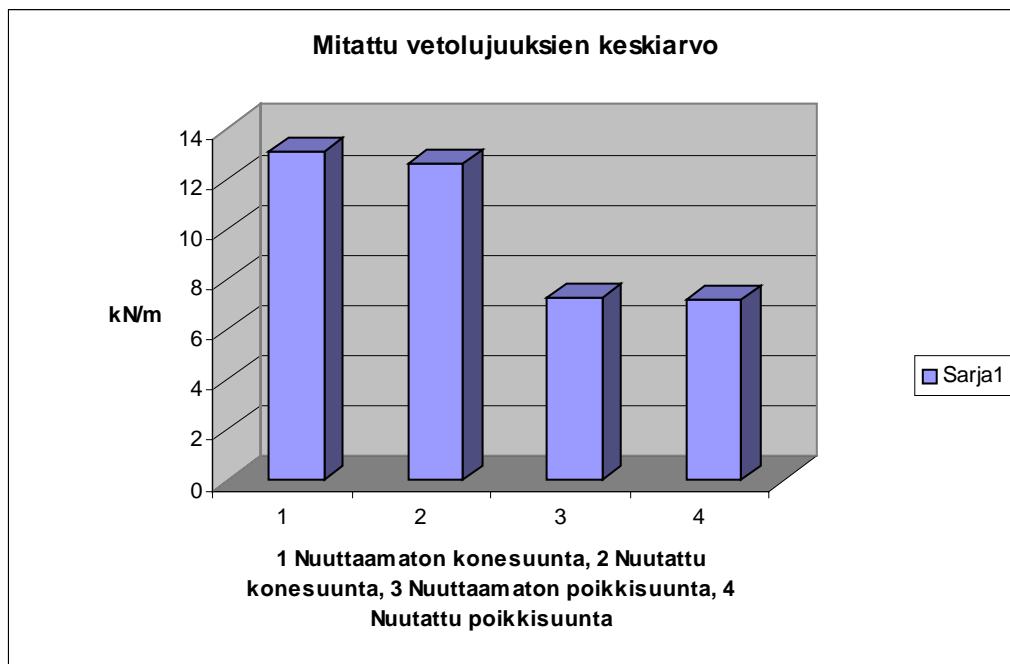
Vetolujuus-sarjojen poikkisuuntaisten mittausten keskiarvojen erot nuuttaamaton vs nuutattu:  $7.27 \text{ kN/m} / 7.23 \text{ kN/m} >$  Voimien erot prosenteissa, 0.55%

Vetolujuus-suhteiden erot kone- ja poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu sarja:  $1.80 / 1.75 >$  Suhteiden ero prosentteina, 2.86%

Nuutattuja näytteitä mitattaessa testiliuskat murtuivat nuuttauksen kohdalta konesuuntaisesti:  $10 / 10 >$  Näytteet murtuivat 100% todennäköisyydellä nuuttauksesta.

Nuutattuja näytteitä mitattaessa testiliuskat murtuivat nuuttauksen kohdalta poikkisuuntaisesti:  $7 / 10 >$  Näytteet murtuivat 70% todennäköisyydellä nuuttauksesta.

Kuvio 13. Tako BM1, 70-230g/m<sup>2</sup> CXKuvio 14. Tako BM1, 70-230g/m<sup>2</sup> CX

Kuvio 15. Tako BM1, 70-230g/m<sup>2</sup> CXKuvio 16. Tako BM1, 70-230g/m<sup>2</sup> CX

**Tako BM3, 25-200g/m<sup>2</sup> CX Lite.** Nuuttaamattomat näytteet 10 kpl sarjat sekä kone- että poikkisuuntaan:

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 225.2 N

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 126.8

Kone- ja poikkisuuntaisten näytesarjojen maksimivoimien suhde KS/PS: 1.78

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 1.77 mm

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 4.41 mm

Kone- ja poikkisuuntaisten näytteiden venymän suhde KS/PS: 0.40

Murtotyön keskiarvo, xa ennen testiliuskan katkeamista konesuuntaan: 167.13 J/m<sup>2</sup>

Murtotyön keskiarvo, xa ennen testiliuskan katkeamista poikkisuuntaan: 264.82 J/m<sup>2</sup>

Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten voimien suhde: 0.63

Vetolujuuksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 15.02 kN/m

Vetolujuuksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 8.46 kN/m

Kone- ja poikkisuuntaisten vetolujuuksien suhde: 1.78

**Tako BM1, 25-200g/m<sup>2</sup> CX Lite.** Nuutatut näytteet 10 kpl sarjat sekä kone- että poikkisuuntaan:

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 205.6 N

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 124.6 N

Kone- ja poikkisuuntaisten näytesarjojen maksimivoimien suhde KS/PS: 1.65

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 1.54 mm

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 4.13mm

Kone- ja poikkisuuntaisten näytteiden venymän suhde KS/PS: 0.37

Murtotyön keskiarvo, xa ennen testiliuskan katkeamista konesuuntaan:	127.18 J/m <sup>2</sup>
Murtotyön keskiarvo, xa ennen testiliuskan katkeamista poikkisuuntaan:	239.67 J/m <sup>2</sup>
Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten voimien suhde:	0.53
Vetolujuuksien keskiarvo, xa konesuuntaan:	13.71 kN/m
Vetolujuuksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan:	8.31 kN/m
Kone- ja poikkisuuntaisten vetolujuuksien suhde:	1.65

Laskennalliset erot nuutatun ja nuuttaamattoman näytesarjan mittauksista:

Maksimivoima ennen murtumista konesuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu:

225.2 N / 205.6 N > Voimien ero prosentteina, 9.53%

Maksimivoima ennen murtumista poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu:

126.8 N / 124.6 N > Voimien ero prosentteina, 1.76%

Kone- ja poikkisuuntaisten koesarjojen suhteiden ero nuuttaamaton vs. nuutattu:

1.78 / 1.65 > Suhteiden ero prosentteina: 7.88%

Venymien keskiarvojen erot ennen murtumista konesuuntaan, nuuttaamaton vs.

nuutattu: 1.77 mm / 1.54 mm > Ero prosentteina, 14.94%

Venymien keskiarvojen erot ennen murtumista poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs.

nuutattu: 4.41 mm / 4.13 mm > Ero prosentteina, 6.78%

Kone- ja poikkisuuntaisten venymien suhde nuuttaamaton ja nuutattu sarja:

0.40 / 0.37 > Ero suhteissa prosentteina, 8.11%

Murtotyöhön vaadittujen voimien keskiarvojen ero konesuuntaan nuuttaamaton vs.

nuutattu: 167.13 J/m<sup>2</sup> / 127.18 J/m<sup>2</sup> > Ero prosentteina, 31.41%

Murtotyöhön vaadittujen voimien keskiarvojen ero poikkisuuntaan nuuttaamaton vs nuutattu:  $264.82 \text{ J/m}^2 / 239.67 \text{ J/m}^2 >$  Ero prosentteina, 10.49%

Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten sarjojen suhteiden ero nuuttaamaton vs. nuutattu:  $0.63 / 0.53 >$  Suhteiden ero prosentteina, 18.87%

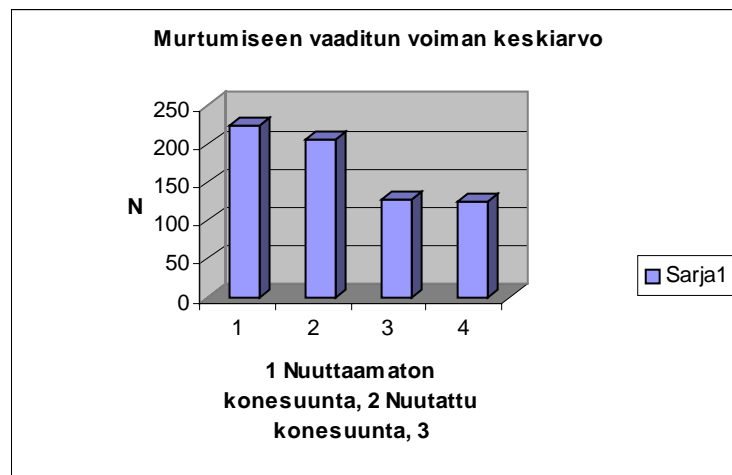
Vetolujuus-sarjojen konesuuntaisten mittausten keskiarvojen erot nuuttaamaton vs. nuutattu:  $15.02 \text{ kN/m} / 13.71 \text{ kN/m} >$  Voimien erot prosenteissa, 9.56%

Vetolujuus-sarjojen poikkisuuntaisten mittausten keskiarvojen erot nuuttaamaton vs nuutattu:  $8.46 \text{ kN/m} / 8.31 \text{ kN/m} >$  Voimien erot prosenteissa, 1.81%

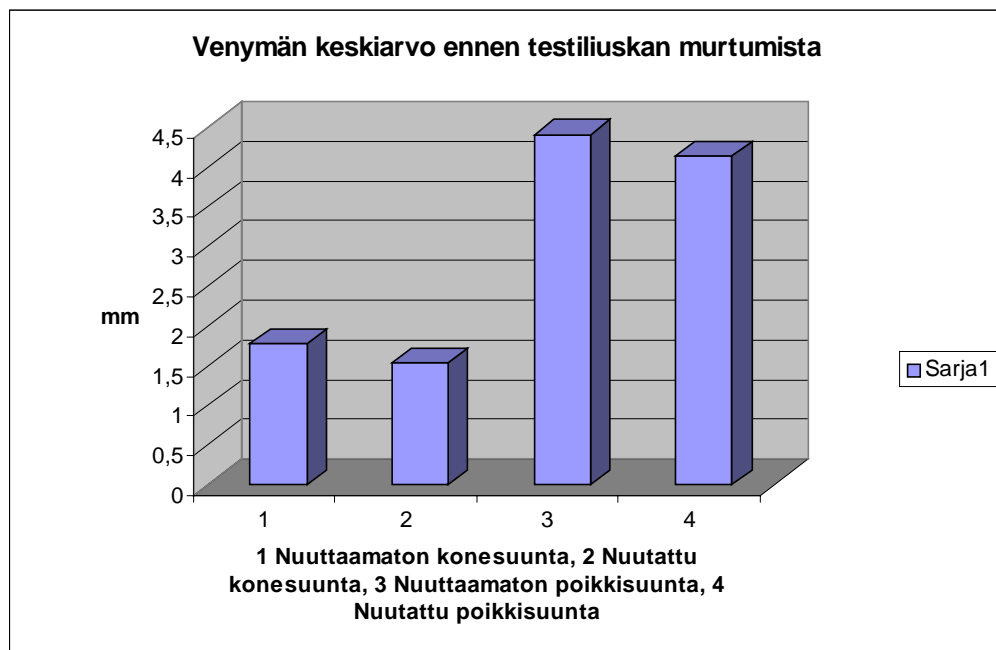
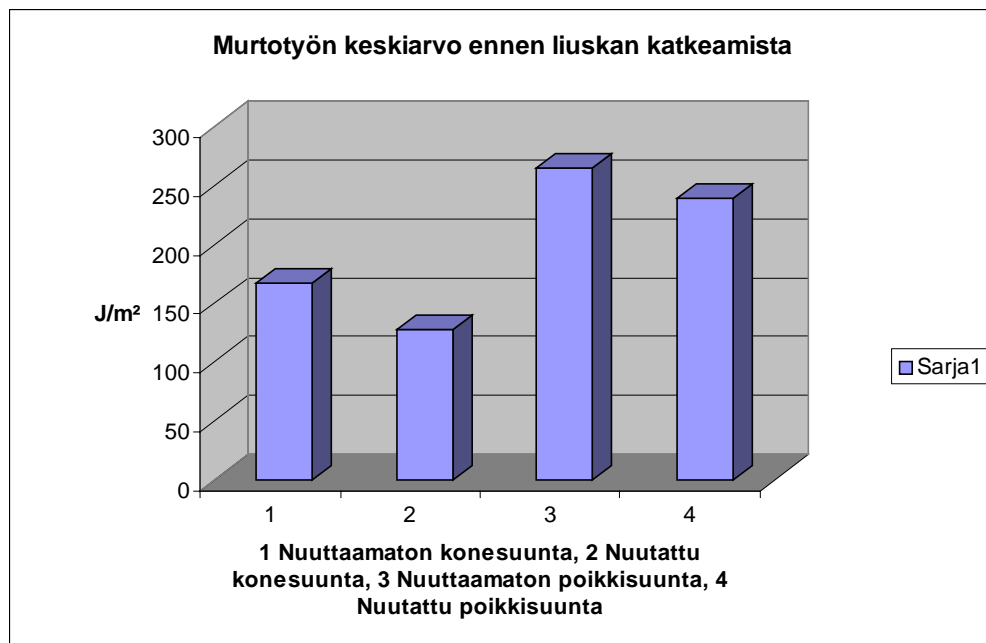
Vetolujuus-suhteiden erot kone- ja poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu sarja:  $1.78 / 1.65 >$  Suhteiden ero prosentteina, 7.88%

Nuutattuja näytteitä mitattaessa testiliuskat murtuivat nuuttauksen kohdalta konesuuntaisesti:  $10 / 10 >$  Näytteet murtuivat 100% todennäköisyydellä nuuttauksesta.

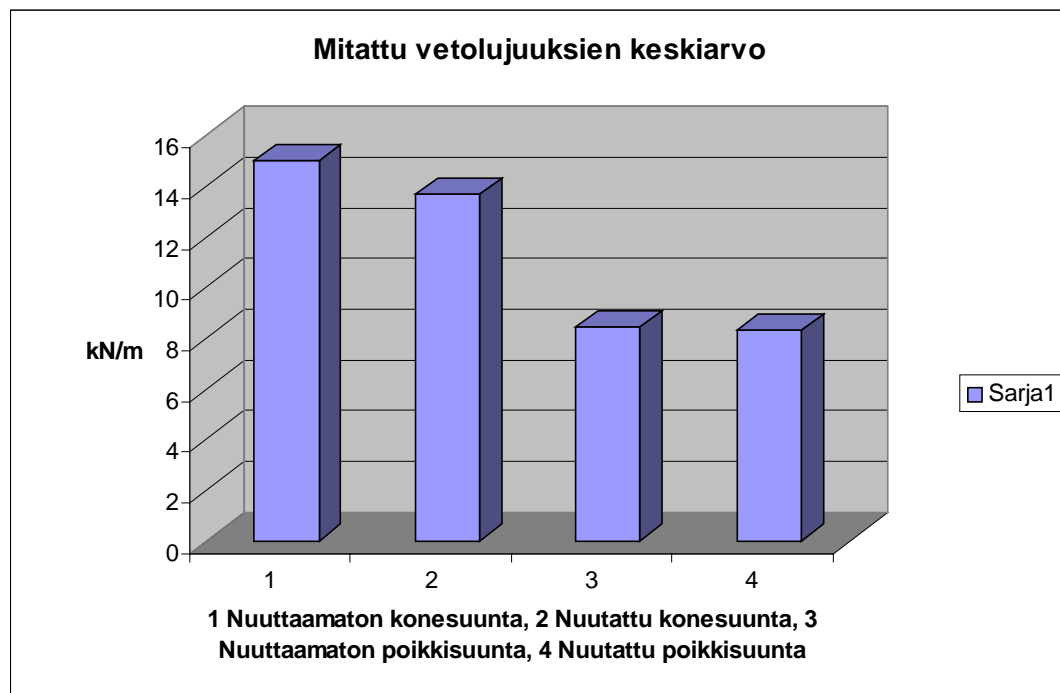
Nuutattuja näytteitä mitattaessa testiliuskat murtuivat nuuttauksen kohdalta poikkisuuntaisesti:  $3 / 10 >$  Näytteet murtuivat 30% todennäköisyydellä nuuttauksesta



Kuvio 17. Tako BM3, 25-200g/m<sup>2</sup> CX Lite

Kuvio 18. Tako BM3, 25-200g/m<sup>2</sup> CX LiteKuvio 19. Tako BM3, 25-200g/m<sup>2</sup> CX Lite



Kuvio 20. Tako BM3, 25-200g/m<sup>2</sup> CX Lite

**Tako BM1, 77-225g/m<sup>2</sup> CX White S.** Nuuttaamattomat näytteet 10 kpl sarjat sekä kone- että poikkisuuntaan:

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 202.5 N

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 114.3 N

Kone- ja poikkisuuntaisten näytesarjojen maksimivoimien suhde KS/PS: 1.77

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 1.57 mm

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 3.44 mm

Kone- ja poikkisuuntaisten näytteiden venymän suhde KS/PS: 0.46

Murtotyön keskiarvo, xa ennen testiliuskan katkeamista konesuuntaan: 136.07 J/m<sup>2</sup>  
Murtotyön keskiarvo, xa ennen testiliuskan katkeamista poikkisuuntaan: 189.63 J/m<sup>2</sup>  
Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten voimien suhde: 0.72

Vetolujuuksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 13.50 kN/m  
Vetolujuuksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 7.62 kN/m  
Kone- ja poikkisuuntaisten vetolujuuksien suhde: 1.77

**Tako BM1, 77-225g/m<sup>2</sup> CX White S.** Nuutatut näytteet 10 kpl sarjat sekä kone- että poikkisuuntaan:

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 188.3 N  
Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 112.0 N  
Kone- ja poikkisuuntaisten näytesarjojen maksimivoimien suhde KS/PS: 1.68

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 1.37 mm  
Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 3.32mm  
Kone- ja poikkisuuntaisten näytteiden venymän suhde KS/PS: 0.41

Murtotyön keskiarvo, xa ennen testiliuskan katkeamista konesuuntaan: 105.51 J/m<sup>2</sup>  
Murtotyön keskiarvo, xa ennen testiliuskan katkeamista poikkisuuntaan: 176.07 J/m<sup>2</sup>  
Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten voimien suhde: 0.60

Vetolujuuksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 12.55 kN/m  
Vetolujuuksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 7.47 kN/m  
Kone- ja poikkisuuntaisten vetolujuuksien suhde: 1.68

Laskennalliset erot nuutatun ja nuuttaamattoman näytesarjan mittauksista:

Maksimivoima ennen murtumista konesuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu:

202.5 N / 188.3 N > Voimien ero prosentteina, 7.54%

Maksimivoima ennen murtumista poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu:

114.3 N / 112.0 N > Voimien ero prosentteina, 2.06%

Kone- ja poikkisuuntaisten koesarjojen suhteiden ero nuuttaamaton vs. nuutattu:

1.77 / 1.68 > Suhteiden ero prosentteina: 5.36%

Venymien keskiarvojen erot ennen murtumista konesuuntaan, nuuttaamaton vs.

nuutattu: 1.57 mm / 1.37 mm > Ero prosentteina, 14.60%

Venymien keskiarvojen erot ennen murtumista poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs.

nuutattu: 3.44 mm / 3.32 mm > Ero prosentteina, 3.61%

Kone- ja poikkisuuntaisten venymien suhde nuuttaamaton ja nuutattu sarja:

0.46 / 0.41 > Ero suhteissa prosentteina, 12.20%

Murtotyöhön vaadittujen voimien keskiarvojen ero konesuuntaan nuuttaamaton vs.

nuutattu: 136.07 J/m<sup>2</sup> / 105.51 J/m<sup>2</sup> > Ero prosentteina, 28.96%

Murtotyöhön vaadittujen voimien keskiarvojen ero poikkisuuntaan nuuttaamaton vs

nuutattu: 189.63 J/m<sup>2</sup> / 176.07 J/m<sup>2</sup> > Ero prosentteina, 7.70%

Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten sarjojen suhteiden ero nuuttaamaton vs.

nuutattu: 0.72 / 0.60 > Suhteiden ero prosentteina, 20.00%

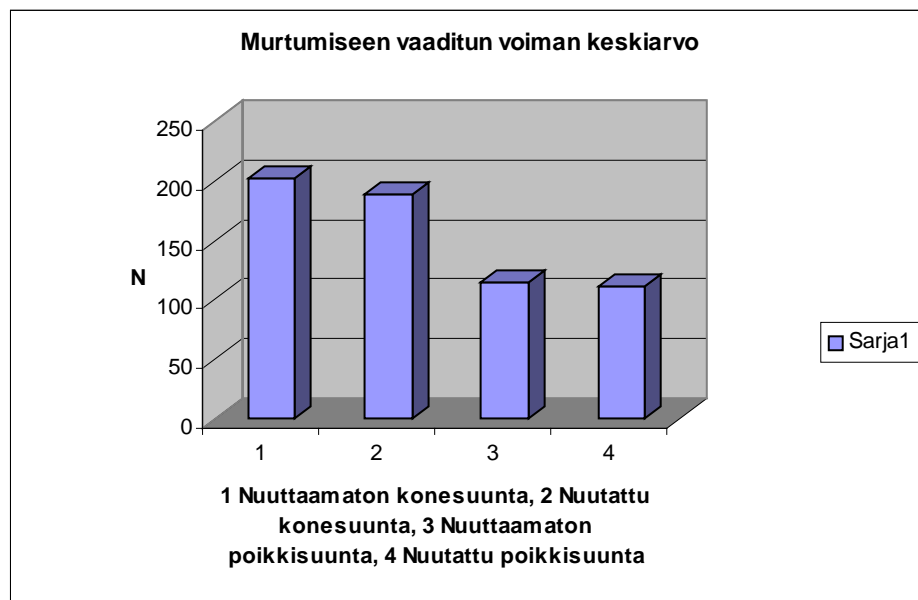
Vetolujuus-sarjojen konesuuntaisten mittausten keskiarvojen erot nuuttaamaton vs. nuutattu: 13.50 kN/m / 12.55 kN/m > Voimien erot prosenteissa, 7.57%

Vetolujuus-sarjojen poikkisuuntaisten mittausten keskiarvojen erot nuuttaamaton vs. nuutattu: 7.62 kN/m / 7.47 kN/m > Voimien erot prosenteissa, 2.00%

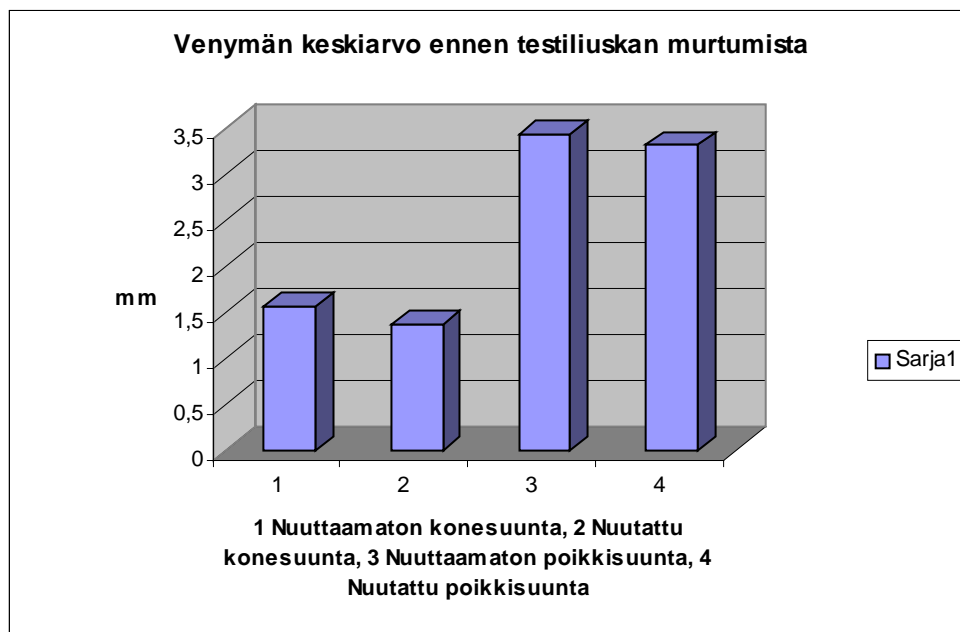
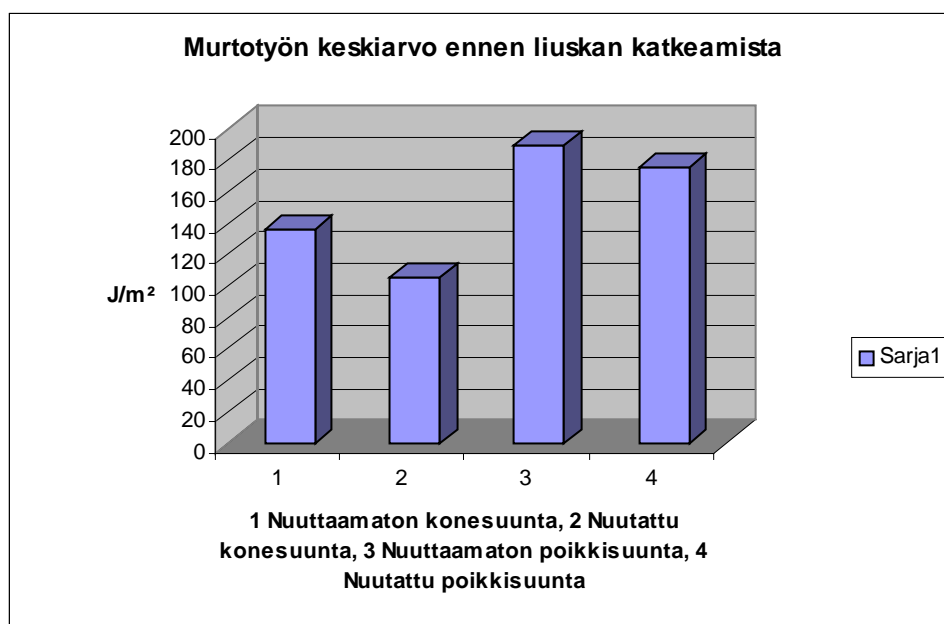
Vetolujuus-suhteiden erot kone- ja poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu sarja: 1.77 / 1.68 > Suhteiden ero prosentteina, 5.36%

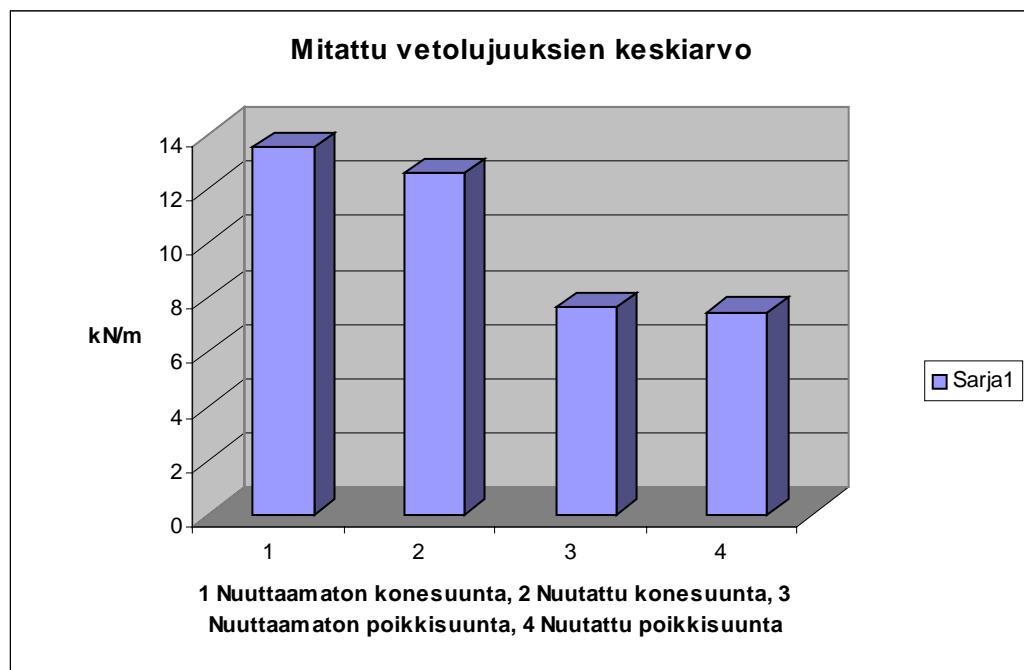
Nuutattuja näytteitä mitattaessa testiliuskat murtuivat nuuttauksen kohdalta konesuuntaisesti: 10 / 10 > Näytteet murtuivat 100% todennäköisyydellä nuuttauksesta.

Nuutattuja näytteitä mitattaessa testiliuskat murtuivat nuuttauksen kohdalta poikkisuuntaisesti: 8 / 10 > Näytteet murtuivat 80% todennäköisyydellä nuuttauksesta.



Kuvio 21. Tako BM1, 77-225g/m<sup>2</sup> CX White S

Kuvio 22. Tako BM1, 77-225g/m<sup>2</sup> CX White SKuvio 23. Tako BM1, 77-225g/m<sup>2</sup> CX White S



Kuvio 24. Tako BM1, 77-225g/m<sup>2</sup> CX White S

**Tako BM3, 48-315g/m<sup>2</sup>, valmistettu v. 2007.** Nuuttaamattomat näytteet 10 kpl sarjat sekä kone- että poikkisuuntaan:

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 240.6 N

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 139.2 N

Kone- ja poikkisuuntaisten näytesarjojen maksimivoimien suhde KS/PS: 1.73

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 1.28 mm

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 3.32 mm

Kone- ja poikkisuuntaisten näytteiden venymän suhde KS/PS: 0.39

Murtotyön keskiarvo,  $\alpha$  ennen testiliuskan katkeamista konesuuntaan: 125.21 J/m<sup>2</sup>  
Murtotyön keskiarvo,  $\alpha$  ennen testiliuskan katkeamista poikkisuuntaan: 218.75 J/m<sup>2</sup>  
Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten voimien suhde: 0.57

Vetolujuuksien keskiarvo,  $\alpha$  konesuuntaan: 16.04 kN/m  
Vetolujuuksien keskiarvo,  $\alpha$  poikkisuuntaan: 9.28 kN/m  
Kone- ja poikkisuuntaisten vetolujuuksien suhde: 1.73

**Tako BM3, 48-315g/m<sup>2</sup>, valmistettu v.2007.** Nuutatut näytteet 10 kpl sarjat sekä kone- että poikkisuuntaan:

Maksimivoimien keskiarvo,  $\alpha$  ennen murtumista konesuuntaan: 218.1 N  
Maksimivoimien keskiarvo,  $\alpha$  ennen murtumista poikkisuuntaan: 142.3 N  
Kone- ja poikkisuuntaisten näytesarjojen maksimivoimien suhde KS/PS: 1.52

Venymän keskiarvo,  $\alpha$  ennen murtumista konesuuntaan: 1.12 mm  
Venymän keskiarvo,  $\alpha$  ennen murtumista poikkisuuntaan: 3.06 mm  
Kone- ja poikkisuuntaisten näytteiden venymän suhde KS/PS: 0.37

Murtotyön keskiarvo,  $\alpha$  ennen testiliuskan katkeamista konesuuntaan: 94.72 J/m<sup>2</sup>  
Murtotyön keskiarvo,  $\alpha$  ennen testiliuskan katkeamista poikkisuuntaan: 203.49 J/m<sup>2</sup>  
Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten voimien suhde: 0.47

Vetolujuuksien keskiarvo,  $\alpha$  konesuuntaan: 14.54 kN/m  
Vetolujuuksien keskiarvo,  $\alpha$  poikkisuuntaan: 9.55 kN/m  
Kone- ja poikkisuuntaisten vetolujuuksien suhde: 1.52

Laskennalliset erot nuutatun ja nuuttaamattoman näytesarjan mittauksista:

Maksimivoima ennen murtumista konesuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu:

240.6 N / 218.1 N > Voimien ero prosentteina, 10.32%

Maksimivoima ennen murtumista poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu:

139.2 N / 143.3 N > Voimien ero prosentteina, 2.95%

Kone- ja poikkisuuntaisten koesarjojen suhteiden ero nuuttaamaton vs. nuutattu:

1.73 / 1.52 > Suhteiden ero prosentteina: 13.82%

Venymien keskiarvojen erot ennen murtumista konesuuntaan, nuuttaamaton vs.

nuutattu: 1.28 mm / 1.12 mm > Ero prosentteina, 14.29%

Venymien keskiarvojen erot ennen murtumista poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs.

nuutattu: 3.32 mm / 3.06 mm > Ero prosentteina, 8.50%

Kone- ja poikkisuuntaisten venymien suhde nuuttaamaton ja nuutattu sarja:

0.39 / 0.37 > Ero suhteissa prosentteina, 5.41%

Murtotyöhön vaadittujen voimien keskiarvojen ero konesuuntaan nuuttaamaton vs.

nuutattu: 125.21 J/m<sup>2</sup> / 94.72 J/m<sup>2</sup> > Ero prosentteina, 32.19%

Murtotyöhön vaadittujen voimien keskiarvojen ero poikkisuuntaan nuuttaamaton vs

nuutattu: 218.75 J/m<sup>2</sup> / 203.49 J/m<sup>2</sup> > Ero prosentteina, 7.50%

Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten sarjojen suhteiden ero nuuttaamaton vs.

nuutattu: 0.57 / 0.47 > Suhteiden ero prosentteina, 21.28%



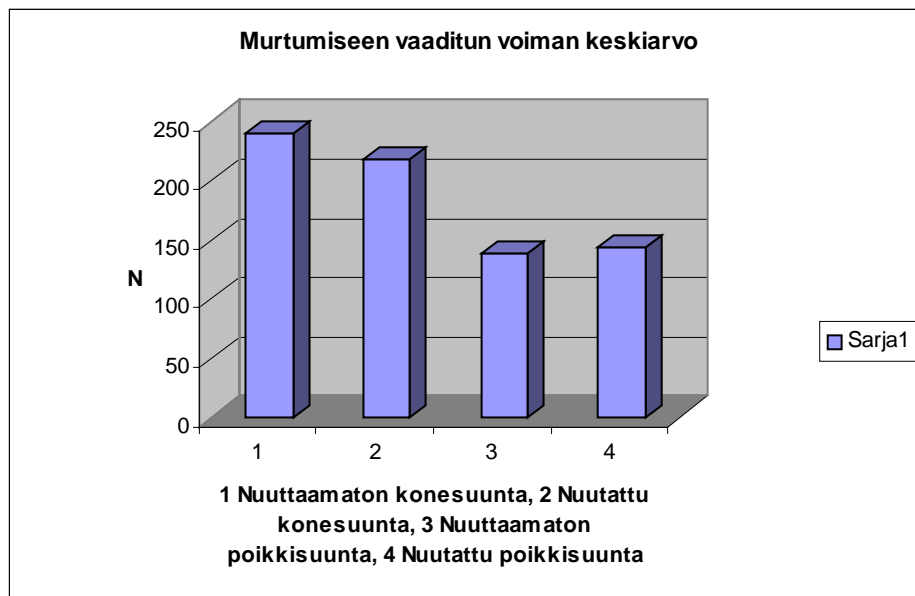
Vetolujuus-sarjojen konesuuntaisten mittausten keskiarvojen erot nuuttaamaton vs. nuutattu: 16.04 kN/m / 14.54 kN/m > Voimien erot prosenteissa, 10.32%

Vetolujuus-sarjojen poikkisuuntaisten mittausten keskiarvojen erot nuuttaamaton vs. nuutattu: 9.28 kN/m / 9.55 kN/m > Voimien erot prosenteissa, 2.90%

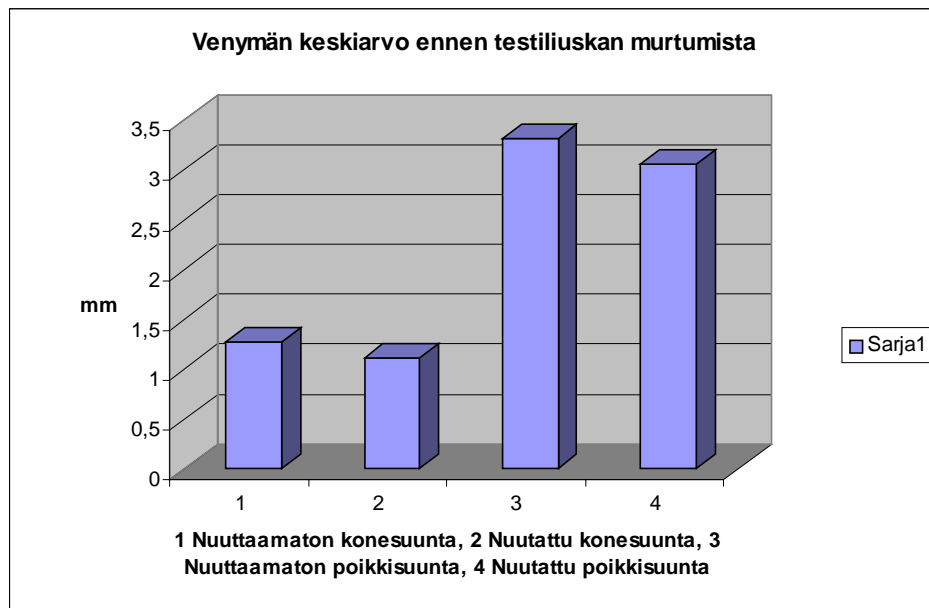
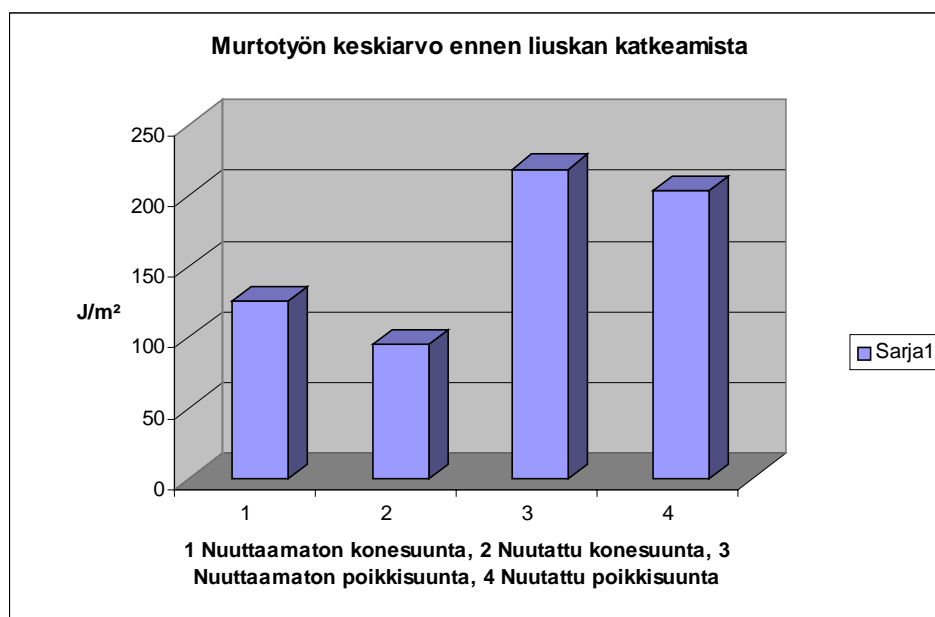
Vetolujuus-suhteiden erot kone- ja poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu sarja: 1.73 / 1.52 > Suhteiden ero prosentteina, 13.82%

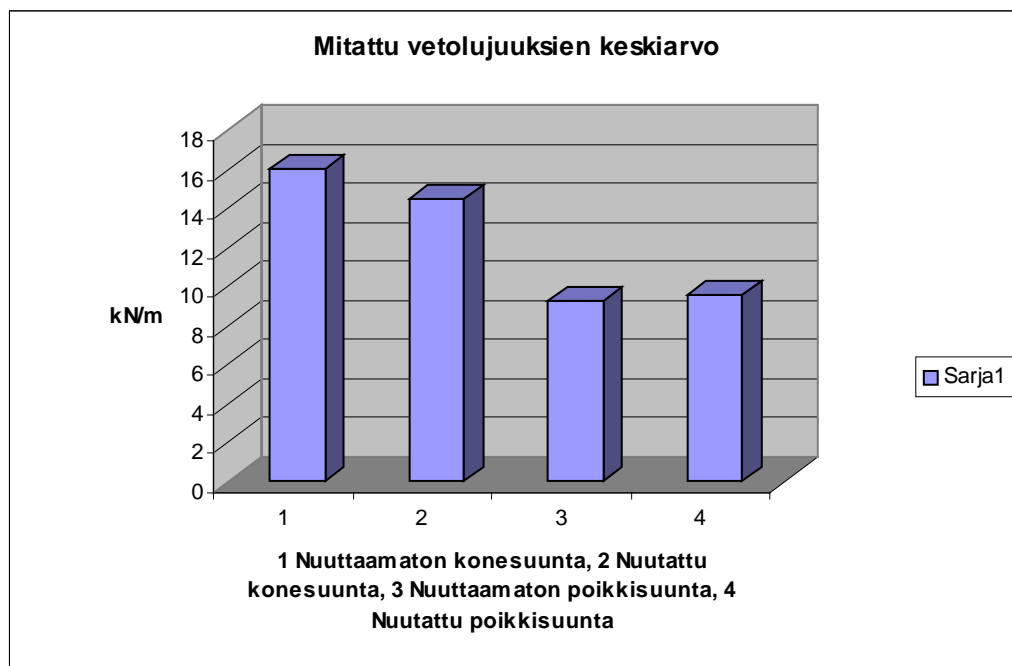
Nuutattuja näytteitä mitattaessa testiliuskat murtuivat nuuttauksen kohdalta konesuuntaisesti: 10 / 10 > Näytteet murtuivat 100% todennäköisyydellä nuuttauksesta.

Nuutattuja näytteitä mitattaessa testiliuskat murtuivat nuuttauksen kohdalta poikkisuuntaisesti: 8 / 10 > Näytteet murtuivat 80% todennäköisyydellä nuuttauksesta.



Kuvio 25. Tako BM3, 48-315g/m<sup>2</sup>, valmistettu v. 2007

Kuvio 26. Tako BM3, 48-315g/m<sup>2</sup>, valmistettu v. 2007Kuvio 27. Tako BM3, 48-315g/m<sup>2</sup>, valmistettu v. 2007



Kuvio 28. Tako BM3, 48-315g/m<sup>2</sup>, valmistettu v. 2007

**Tako BM1, 70-215g/m<sup>2</sup> CX, valmistettu v. 2007.** Nuuttaamattomat näytteet 10 kpl sarjat sekä kone- että poikkisuuntaan:

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 202.2 N

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 110.4 N

Kone- ja poikkisuuntaisten näytesarjojen maksimivoimien suhde KS/PS: 1.83

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 1.59 mm

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 3.50 mm

Kone- ja poikkisuuntaisten näytteiden venymän suhde KS/PS: 0.45

Murtotyön keskiarvo,  $\alpha$  ennen testiliuskan katkeamista konesuuntaan: 138.90 J/m<sup>2</sup>  
Murtotyön keskiarvo,  $\alpha$  ennen testiliuskan katkeamista poikkisuuntaan: 189.16 J/m<sup>2</sup>  
Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten voimien suhde: 0.73

Vetolujuuksien keskiarvo,  $\alpha$  konesuuntaan: 13.48 kN/m  
Vetolujuuksien keskiarvo,  $\alpha$  poikkisuuntaan: 7.36 kN/m  
Kone- ja poikkisuuntaisten vetolujuuksien suhde: 1.83

**Tako BM1, 70-215g/m<sup>2</sup> CX, valmistettu v.2007.** Nuutatut näytteet 10 kpl sarjat sekä kone- että poikkisuuntaan:

Maksimivoimien keskiarvo,  $\alpha$  ennen murtumista konesuuntaan: 187.2 N  
Maksimivoimien keskiarvo,  $\alpha$  ennen murtumista poikkisuuntaan: 110.4 N  
Kone- ja poikkisuuntaisten näytesarjojen maksimivoimien suhde KS/PS: 1.69

Venymän keskiarvo,  $\alpha$  ennen murtumista konesuuntaan: 1.39 mm  
Venymän keskiarvo,  $\alpha$  ennen murtumista poikkisuuntaan: 3.64 mm  
Kone- ja poikkisuuntaisten näytteiden venymän suhde KS/PS: 0.38

Murtotyön keskiarvo,  $\alpha$  ennen testiliuskan katkeamista konesuuntaan: 107.42 J/m<sup>2</sup>  
Murtotyön keskiarvo,  $\alpha$  ennen testiliuskan katkeamista poikkisuuntaan: 195.20 J/m<sup>2</sup>  
Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten voimien suhde: 0.55

Vetolujuuksien keskiarvo,  $\alpha$  konesuuntaan: 12.48 kN/m  
Vetolujuuksien keskiarvo,  $\alpha$  poikkisuuntaan: 7.36 kN/m  
Kone- ja poikkisuuntaisten vetolujuuksien suhde: 1.69

Laskennalliset erot nuutatun ja nuuttaamattoman näytesarjan mittauksista:

Maksimivoima ennen murtumista konesuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu:

202.2 N / 187.2 N > Voimien ero prosentteina, 8.01%

Maksimivoima ennen murtumista poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu:

110.4 N / 110.4 N > Voimien ero prosentteina, 0.00%

Kone- ja poikkisuuntaisten koesarjojen suhteiden ero nuuttaamaton vs. nuutattu:

1.83 / 1.69 > Suhteiden ero prosentteina: 8.28%

Venymien keskiarvojen erot ennen murtumista konesuuntaan, nuuttaamaton vs.

nuutattu: 1.59 mm / 1.39 mm > Ero prosentteina, 14.39%

Venymien keskiarvojen erot ennen murtumista poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs.

nuutattu: 3.50 mm / 3.64 mm > Ero prosentteina, 4.00%

Kone- ja poikkisuuntaisten venymien suhde nuuttaamaton ja nuutattu sarja:

0.45 / 0.38 > Ero suhteissa prosentteina, 18.42%

Murtotyöhön vaadittujen voimien keskiarvojen ero konesuuntaan nuuttaamaton vs.

nuutattu: 138.90 J/m<sup>2</sup> / 107.42 J/m<sup>2</sup> > Ero prosentteina, 29.31%

Murtotyöhön vaadittujen voimien keskiarvojen ero poikkisuuntaan nuuttaamaton vs

nuutattu: 189.16 J/m<sup>2</sup> / 195.20 J/m<sup>2</sup> > Ero prosentteina, 3.19%

Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten sarjojen suhteiden ero nuuttaamaton vs.

nuutattu: 0.73 / 0.55 > Suhteiden ero prosentteina, 32.72%

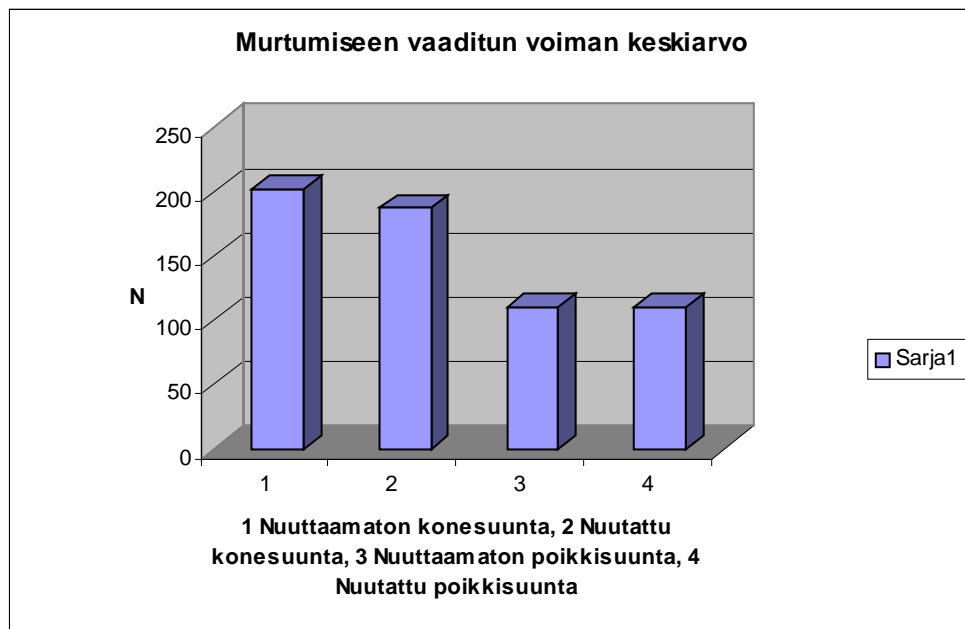
Vetolujuus-sarjojen konesuuntaisten mittausten keskiarvojen erot nuuttaamaton vs. nuutattu: 13.48 kN/m / 12.48 kN/m > Voimien erot prosenteissa, 8.01%

Vetolujuus-sarjojen poikkisuuntaisten mittausten keskiarvojen erot nuuttaamaton vs. nuutattu: 7.36 kN/m / 7.36 kN/m > Voimien erot prosenteissa, 0.00%

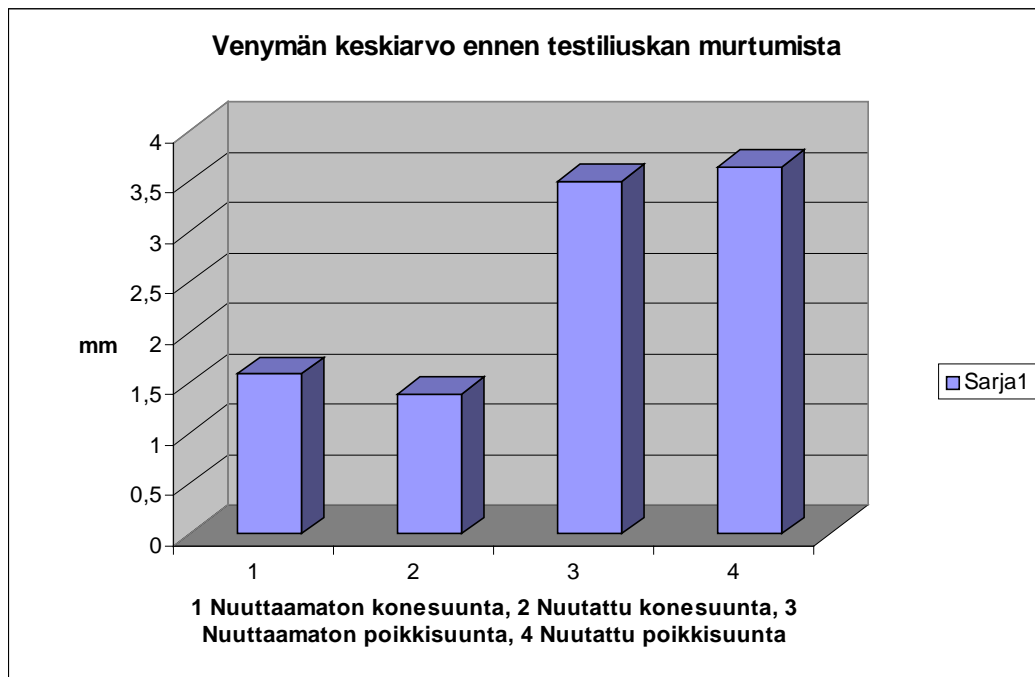
Vetolujuus-suhteiden erot kone- ja poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu sarja: 1.83 / 1.69 > Suhteiden ero prosentteina, 8.28%

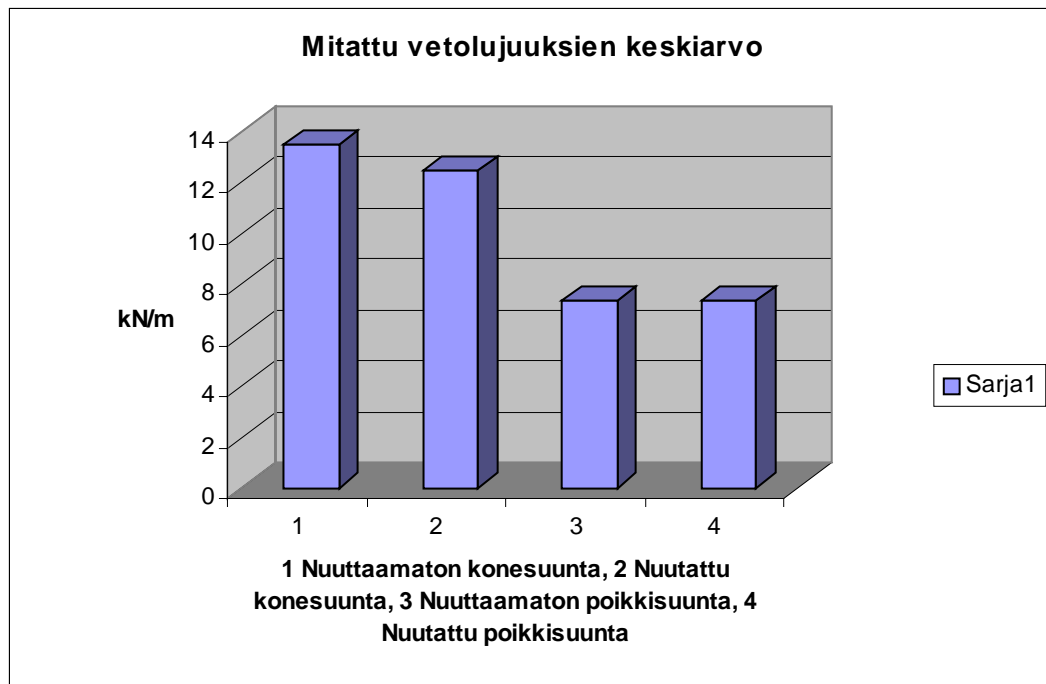
Nuutattuja näytteitä mitattaessa testiliuskat murtuivat nuuttauksen kohdalta konesuuntaisesti: 10 / 10 > Näytteet murtuivat 100% todennäköisyydellä nuuttauksesta.

Nuutattuja näytteitä mitattaessa testiliuskat murtuivat nuuttauksen kohdalta poikkisuuntaisesti: 7 / 10 > Näytteet murtuivat 70% todennäköisyydellä nuuttauksesta.



Kuvio 29. Tako BM1, 70-215g/m<sup>2</sup> CX, valmistettu v. 2007

Kuvio 30. Tako BM1, 70-215g/m<sup>2</sup> CX, tuotettu v. 2007Kuvio 31. Tako BM1, 70-215g/m<sup>2</sup> CX, valmistettu v. 2007



Kuvio 32. Tako BM1, 70-215g/m<sup>2</sup> CX, valmistettu v. 2007

**Tako BM1, 70-215g/m<sup>2</sup> CX, valmistettu v. 2009.** Nuuttaamattomat näytteet 10 kpl sarjat sekä kone- että poikkisuuntaan:

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 258.1 N

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 111.1 N

Kone- ja poikkisuuntaisten näytesarjojen maksimivoimien suhde KS/PS: 2.32

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 1.51 mm

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 3.74 mm

Kone- ja poikkisuuntaisten näytteiden venymän suhde KS/PS: 0.40



Murtotyön keskiarvo,  $\alpha$  ennen testiliuskan katkeamista konesuuntaan: 170.14 J/m<sup>2</sup>  
Murtotyön keskiarvo,  $\alpha$  ennen testiliuskan katkeamista poikkisuuntaan: 204.76 J/m<sup>2</sup>  
Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten voimien suhde: 0.83

Vetolujuuksien keskiarvo,  $\alpha$  konesuuntaan: 17.21 kN/m  
Vetolujuuksien keskiarvo,  $\alpha$  poikkisuuntaan: 7.40 kN/m  
Kone- ja poikkisuuntaisten vetolujuuksien suhde: 2.32

**Tako BM1, 70-215g/m<sup>2</sup> CX, valmistettu v.2009.** Nuutatut näytteet 10 kpl sarjat sekä kone- että poikkisuuntaan:

Maksimivoimien keskiarvo,  $\alpha$  ennen murtumista konesuuntaan: 181.6 N  
Maksimivoimien keskiarvo,  $\alpha$  ennen murtumista poikkisuuntaan: 108.1 N  
Kone- ja poikkisuuntaisten näytesarjojen maksimivoimien suhde KS/PS: 1.68

Venymän keskiarvo,  $\alpha$  ennen murtumista konesuuntaan: 1.54 mm  
Venymän keskiarvo,  $\alpha$  ennen murtumista poikkisuuntaan: 3.93 mm  
Kone- ja poikkisuuntaisten näytteiden venymän suhde KS/PS: 0.39

Murtotyön keskiarvo,  $\alpha$  ennen testiliuskan katkeamista konesuuntaan: 119.14 J/m<sup>2</sup>  
Murtotyön keskiarvo,  $\alpha$  ennen testiliuskan katkeamista poikkisuuntaan: 207.46 J/m<sup>2</sup>  
Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten voimien suhde: 0.57

Vetolujuuksien keskiarvo,  $\alpha$  konesuuntaan: 12.11 kN/m  
Vetolujuuksien keskiarvo,  $\alpha$  poikkisuuntaan: 7.21 kN/m  
Kone- ja poikkisuuntaisten vetolujuuksien suhde: 1.68

Laskennalliset erot nuutatun ja nuuttaamattoman näytesarjan mittauksista:

Maksimivoima ennen murtumista konesuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu:

258.1 N / 181.6 N > Voimien ero prosentteina, 42.13%

Maksimivoima ennen murtumista poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu:

111.1 N / 108.1 N > Voimien ero prosentteina, 2.78%

Kone- ja poikkisuuntaisten koesarjojen suhteiden ero nuuttaamaton vs. nuutattu:

2.32 / 1.68 > Suhteiden ero prosentteina: 38.10%

Venymien keskiarvojen erot ennen murtumista konesuuntaan, nuuttaamaton vs.

nuutattu: 1.51 mm / 1.54 mm > Ero prosentteina, 1.99%

Venymien keskiarvojen erot ennen murtumista poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs.

nuutattu: 3.74 mm / 3.93 mm > Ero prosentteina, 5.08%

Kone- ja poikkisuuntaisten venymien suhde nuuttaamaton ja nuutattu sarja:

0.40 / 0.39 > Ero suhteissa prosentteina, 2.56%

Murtotyöhön vaadittujen voimien keskiarvojen ero konesuuntaan nuuttaamaton vs.

nuutattu: 170.14 J/m<sup>2</sup> / 119.14 J/m<sup>2</sup> > Ero prosentteina, 42.81%

Murtotyöhön vaadittujen voimien keskiarvojen ero poikkisuuntaan nuuttaamaton vs

nuutattu: 204.76 J/m<sup>2</sup> / 207.46 J/m<sup>2</sup> > Ero prosentteina, 1.32%

Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten sarjojen suhteiden ero nuuttaamaton vs.

nuutattu: 0.83 / 0.57 > Suhteiden ero prosentteina, 45.61%

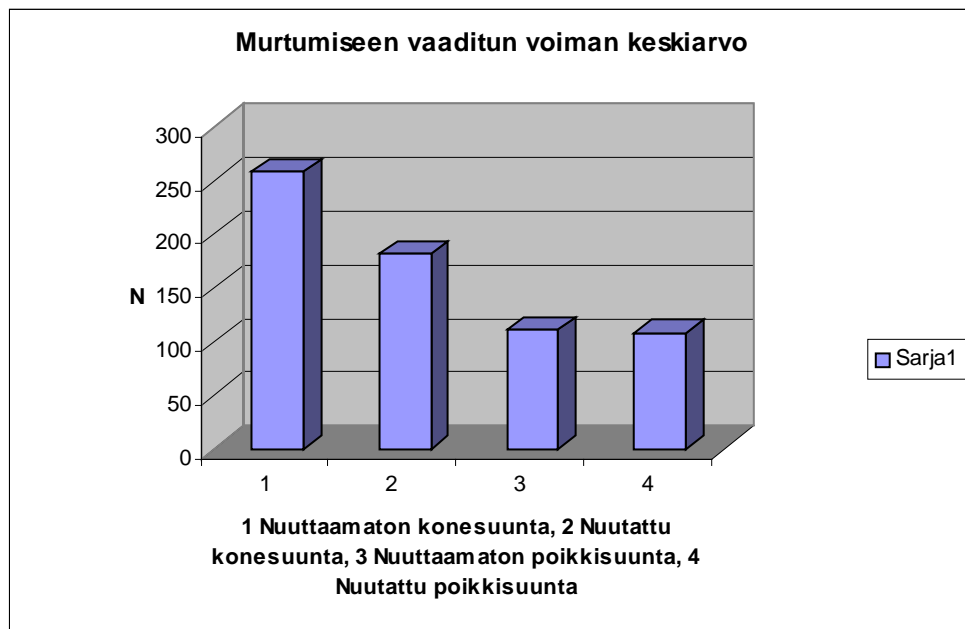
Vetolujuus-sarjojen konesuuntaisten mittausten keskiarvojen erot nuuttaamaton vs. nuutattu: 17.21 kN/m / 12.11 kN/m > Voimien erot prosenteissa, 42.11%

Vetolujuus-sarjojen poikkisuuntaisten mittausten keskiarvojen erot nuuttaamaton vs. nuutattu: 7.40 kN/m / 7.21 kN/m > Voimien erot prosenteissa, 2.64%

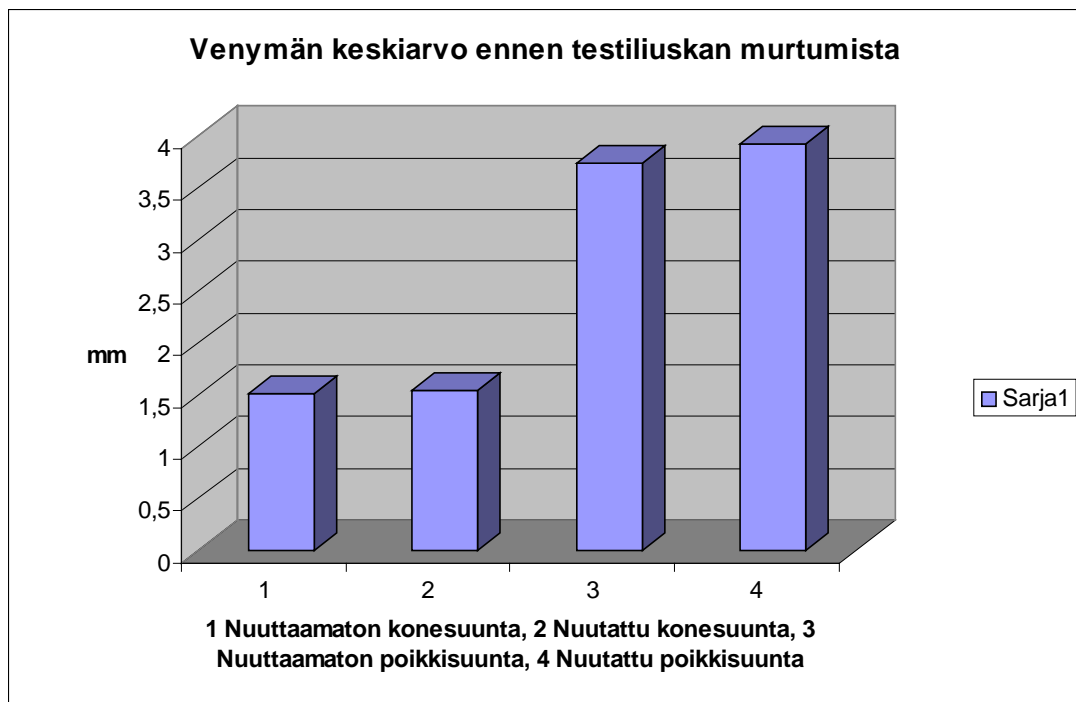
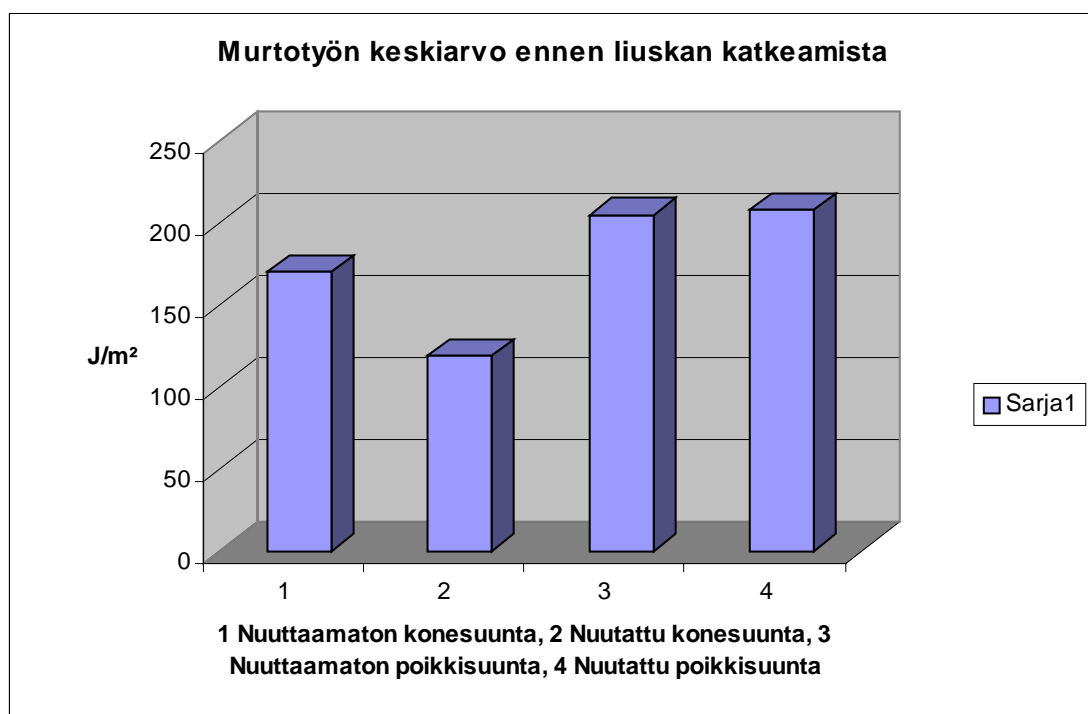
Vetolujuus-suhteiden erot kone- ja poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu sarja: 2.32 / 1.68 > Suhteiden ero prosentteina, 38.09%

Nuutattuja näytteitä mitattaessa testiliuskat murtuivat nuuttauksen kohdalta konesuuntaisesti: 10 / 10 > Näytteet murtuivat 100% todennäköisyydellä nuuttauksesta.

Nuutattuja näytteitä mitattaessa testiliuskat murtuivat nuuttauksen kohdalta poikkisuuntaisesti: 5 / 10 > Näytteet murtuivat 50% todennäköisyydellä nuuttauksesta.



Kuvio 33. Tako BM1, 70-215g/m<sup>2</sup> CX, valmistettu v. 2009

Kuvio 34. Tako BM1, 70-215g/m<sup>2</sup> CX, valmistettu v. 2009Kuvio 35. Tako BM1, 70-215g/m<sup>2</sup> CX, valmistettu v. 2009



Kuvio 36. Tako BM1, 70-215g/m<sup>2</sup> CX, valmistettu v. 2009

**Tako BM1, 77-215g/m<sup>2</sup>, CX White S päällystämätön.** Nuuttaamattomat näytteet 10 kpl sarjat sekä kone- että poikkisuuntaan:

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 176.3 N

Maksimivoimien keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 99.3 N

Kone- ja poikkisuuntaisten näytesarjojen maksimivoimien suhde KS/PS: 1.78

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista konesuuntaan: 1.66 mm

Venymän keskiarvo, xa ennen murtumista poikkisuuntaan: 3.91 mm

Kone- ja poikkisuuntaisten näytteiden venymän suhde KS/PS: 0.43

Murtotyön keskiarvo,  $\alpha$  ennen testiliuskan katkeamista konesuuntaan: 125.87 J/m<sup>2</sup>  
Murtotyön keskiarvo,  $\alpha$  ennen testiliuskan katkeamista poikkisuuntaan: 183.64 J/m<sup>2</sup>  
Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten voimien suhde: 0.69

Vetolujuuksien keskiarvo,  $\alpha$  konesuuntaan: 11.76 kN/m  
Vetolujuuksien keskiarvo,  $\alpha$  poikkisuuntaan: 6.62 kN/m  
Kone- ja poikkisuuntaisten vetolujuuksien suhde: 1.78

**Tako BM1, 77-215g/m<sup>2</sup>, CX White S. päällystämätön.** Nuutatut näytteet 10 kpl  
sarjat sekä kone- että poikkisuuntaan:

Maksimivoimien keskiarvo,  $\alpha$  ennen murtumista konesuuntaan: 167.1 N  
Maksimivoimien keskiarvo,  $\alpha$  ennen murtumista poikkisuuntaan: 97.1 N  
Kone- ja poikkisuuntaisten näytesarjojen maksimivoimien suhde KS/PS: 1.72

Venymän keskiarvo,  $\alpha$  ennen murtumista konesuuntaan: 1.63 mm  
Venymän keskiarvo,  $\alpha$  ennen murtumista poikkisuuntaan: 3.53 mm  
Kone- ja poikkisuuntaisten näytteiden venymän suhde KS/PS: 0.46

Murtotyön keskiarvo,  $\alpha$  ennen testiliuskan katkeamista konesuuntaan: 115.09 J/m<sup>2</sup>  
Murtotyön keskiarvo,  $\alpha$  ennen testiliuskan katkeamista poikkisuuntaan: 158.71 J/m<sup>2</sup>  
Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten voimien suhde: 0.73

Vetolujuuksien keskiarvo,  $\alpha$  konesuuntaan: 11.14 kN/m  
Vetolujuuksien keskiarvo,  $\alpha$  poikkisuuntaan: 6.47 kN/m  
Kone- ja poikkisuuntaisten vetolujuuksien suhde: 1.72

Laskennalliset erot nuutatun ja nuuttaamattoman näytesarjan mittauksista:

Maksimivoima ennen murtumista konesuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu:

176.3 N / 167.1 N > Voimien ero prosentteina, 5.51%

Maksimivoima ennen murtumista poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu:

99.3 N / 97.1 N > Voimien ero prosentteina, 2.26%

Kone- ja poikkisuuntaisten koesarjojen suhteiden ero nuuttaamaton vs. nuutattu:

1.78 / 1.72 > Suhteiden ero prosentteina: 3.49%

Venymien keskiarvojen erot ennen murtumista konesuuntaan, nuuttaamaton vs.

nuutattu: 1.66 mm / 1.63 mm > Ero prosentteina, 1.84%

Venymien keskiarvojen erot ennen murtumista poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs.

nuutattu: 3.91 mm / 3.53 mm > Ero prosentteina, 10.76%

Kone- ja poikkisuuntaisten venymien suhde nuuttaamaton ja nuutattu sarja:

0.43 / 0.46 > Ero suhteissa prosentteina, 6.98%

Murtotyöhön vaadittujen voimien keskiarvojen ero konesuuntaan nuuttaamaton vs.

nuutattu: 125.87 J/m<sup>2</sup> / 115.09 J/m<sup>2</sup> > Ero prosentteina, 9.37%

Murtotyöhön vaadittujen voimien keskiarvojen ero poikkisuuntaan nuuttaamaton vs

nuutattu: 183.64 J/m<sup>2</sup> / 158.71 J/m<sup>2</sup> > Ero prosentteina, 15.71%

Murtotyön kone- ja poikkisuuntaisten sarjojen suhteiden ero nuuttaamaton vs.

nuutattu: 0.69 / 0.73 > Suhteiden ero prosentteina, 5.80%

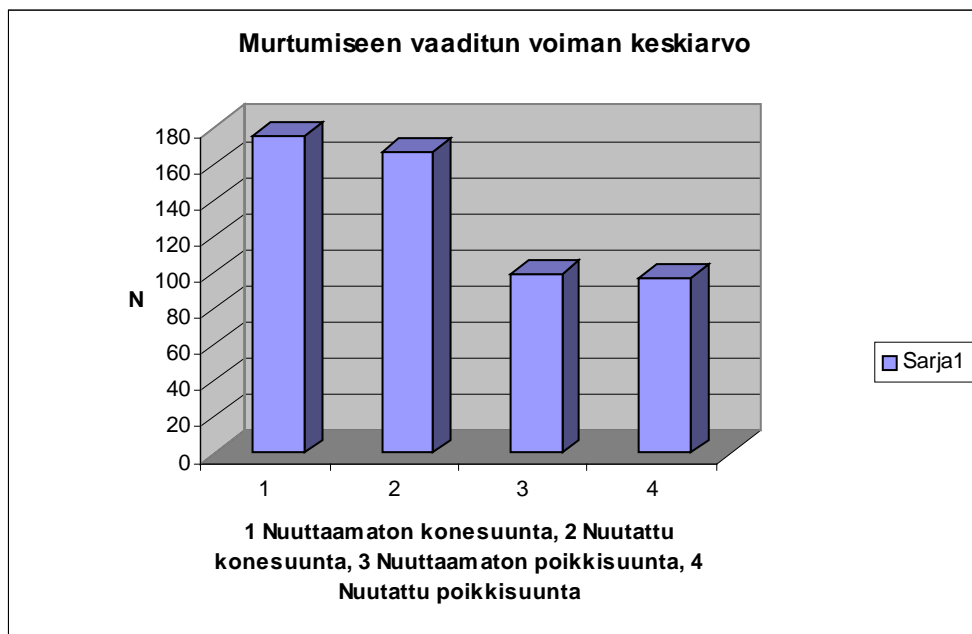
Vetolujuus-sarjojen konesuuntaisten mittausten keskiarvojen erot nuuttaamaton vs. nuutattu: 11.76 kN/m / 11.14 kN/m > Voimien erot prosenteissa, 5.57%

Vetolujuus-sarjojen poikkisuuntaisten mittausten keskiarvojen erot nuuttaamaton vs. nuutattu: 6.62 kN/m / 6.47 kN/m > Voimien erot prosenteissa, 2.32%

Vetolujuus-suhteiden erot kone- ja poikkisuuntaan, nuuttaamaton vs. nuutattu sarja: 1.78 / 1.72 > Suhteiden ero prosentteina, 3.49%

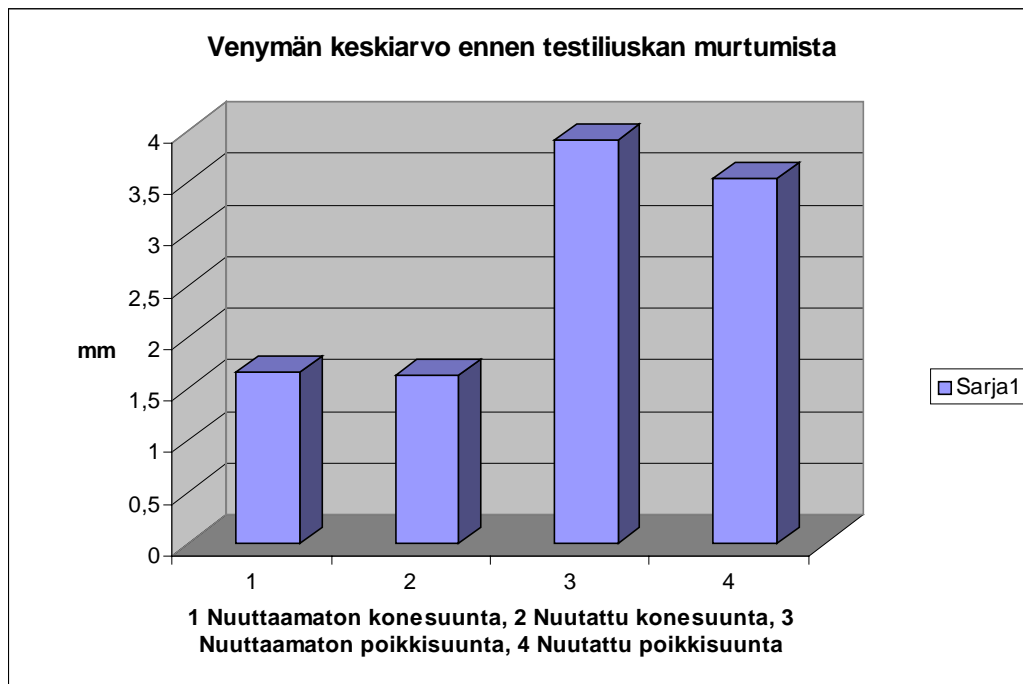
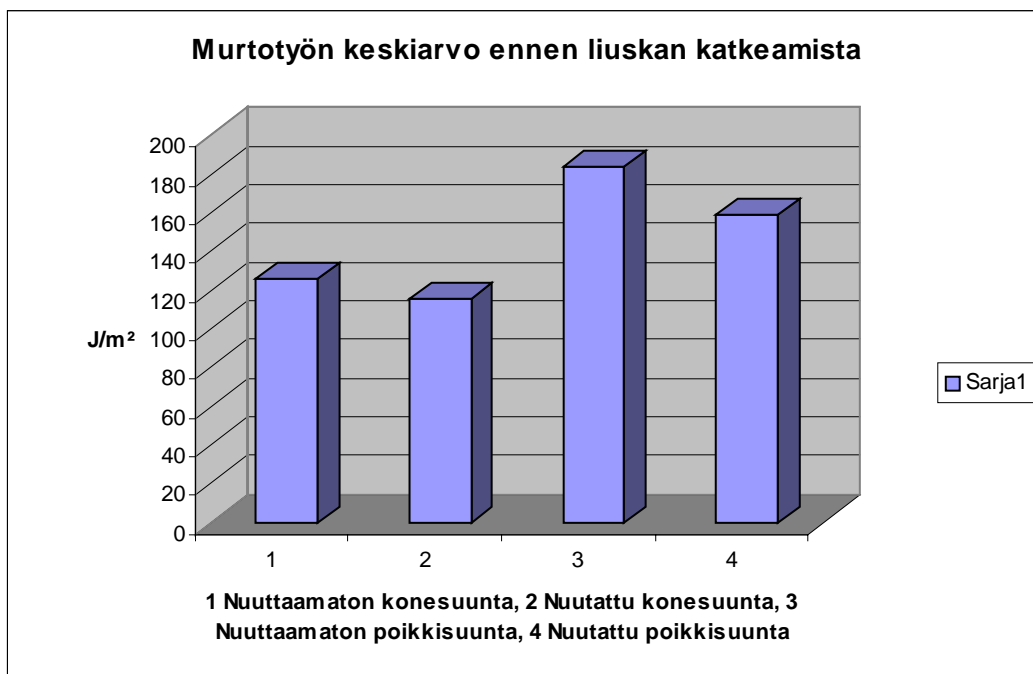
Nuutattuja näytteitä mitattaessa testiliuskat murtuivat nuuttauksen kohdalta konesuuntaisesti: 6 / 10 > Näytteet murtuivat 60% todennäköisyydellä nuuttauksesta.

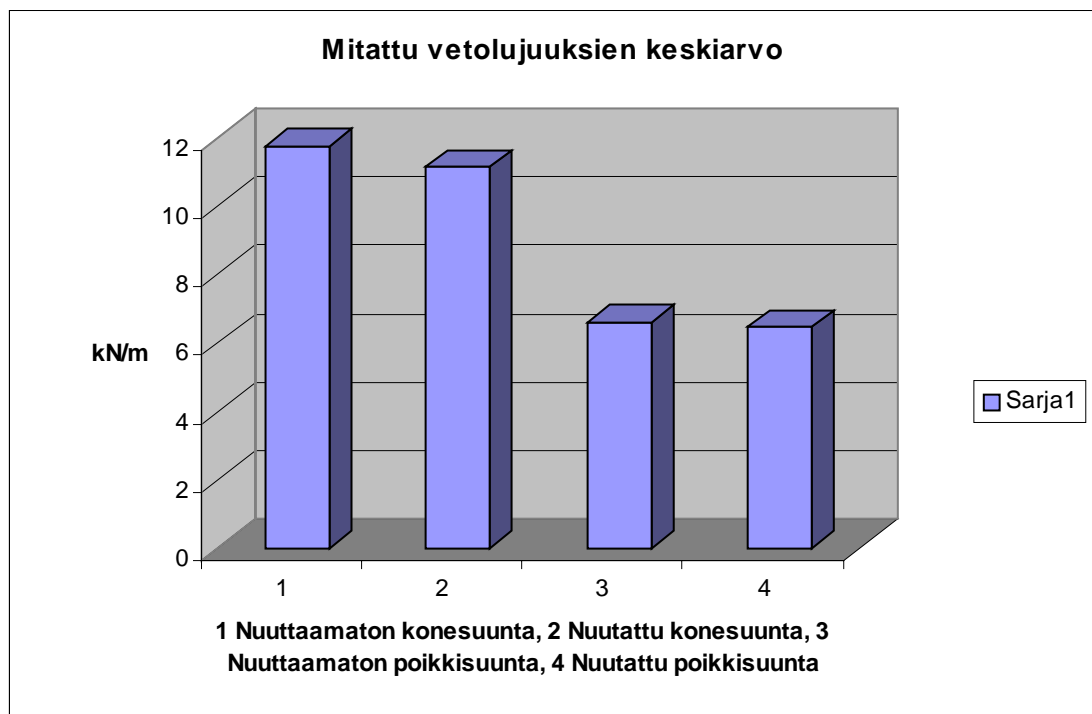
Nuutattuja näytteitä mitattaessa testiliuskat murtuivat nuuttauksen kohdalta poikkisuuntaisesti: 2 / 10 > Näytteet murtuivat 20% todennäköisyydellä nuuttauksesta.



Kuvio 37. Tako BM1, 77-215g/m<sup>2</sup>, CX White S päällystämätön



Kuvio 38. Tako BM1, 77-215g/m<sup>2</sup>, CX White S päällystämätönKuvio 39. Tako BM1, 77-215g/m<sup>2</sup>, CX White S päällystämätön



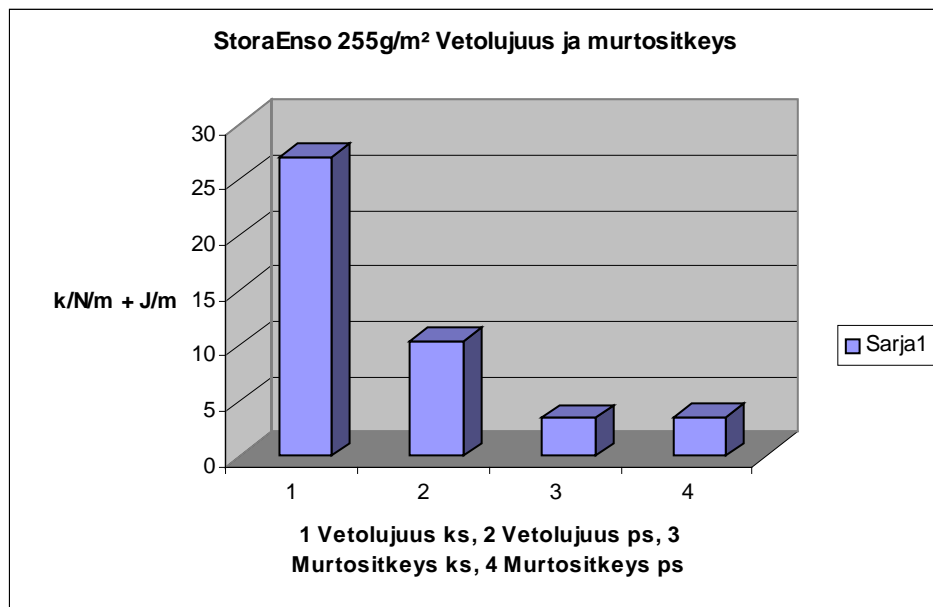
Kuvio 40. Tako BM1, 77-215g/m<sup>2</sup>, CX White S päällystämätön

## Murtositkeys

Murtositkeys on määritetty mittaamalla peräkkäin 10 kpl sarjat vetolujuuksia sekä kone- että poikkisuuntaan. Seuraavaksi mitattu 10 kpl sarjat kone- että poikkisuuntaan murtositkeydelle, jonka yksikkö J/m. Arvot on laskettu L&Wn Tensile strenght -mittarin toimesta.

### StoraEnso 255G/m<sup>2</sup> PE nestepakkauskartonki.

Vetolujuuksien keskiarvo, xa konesuuntaan:	27.05 kN/m
Vetolujuuksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan:	10.45 kN/m
Kone- ja poikkisuuntaisten lujuuksien suhde:	2.59
Murtositkeyksien keskiarvo, xa konesuuntaan:	3.436 J/m
Murtositkeyksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan:	3.534 J/m
Kone- ja poikkisuuntaisten sitkeyksien suhde:	0.97



Kuvio 41. StoraEnso 255g/m<sup>2</sup> PE-nestepakkauskartonki

**Tako BM1, 25-200g/m<sup>2</sup>, CX Lite**

Vetolujuuksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 15.28 kN/m

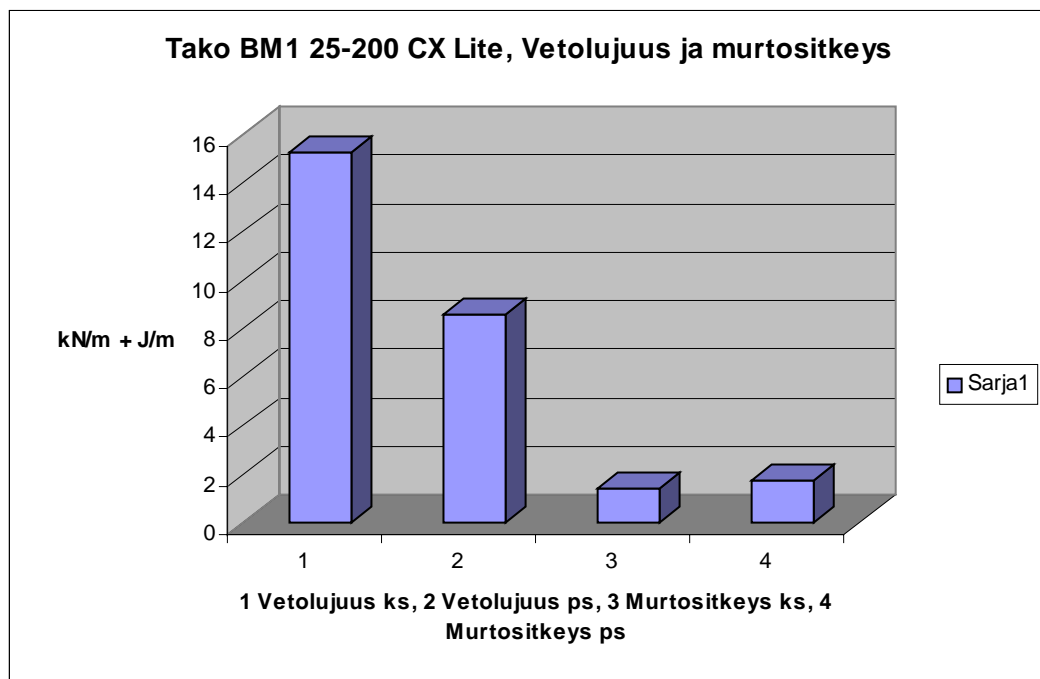
Vetolujuuksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 8.56 kN/m

Kone- ja poikkisuuntaisten lujuuksien suhde: 1.79

Murtositkeyksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 1.435 J/m

Murtositkeyksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 1.718 J/m

Kone- ja poikkisuuntaisten sitkeyksien suhde: 0.84



Kuvio 42. Tako BM1, 25-200g/m<sup>2</sup>, CX Lite

**Tako BM3 48-315g/m<sup>2</sup>, valmistettu v. 2009.**

Vetolujuuksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 16.13 kN/m

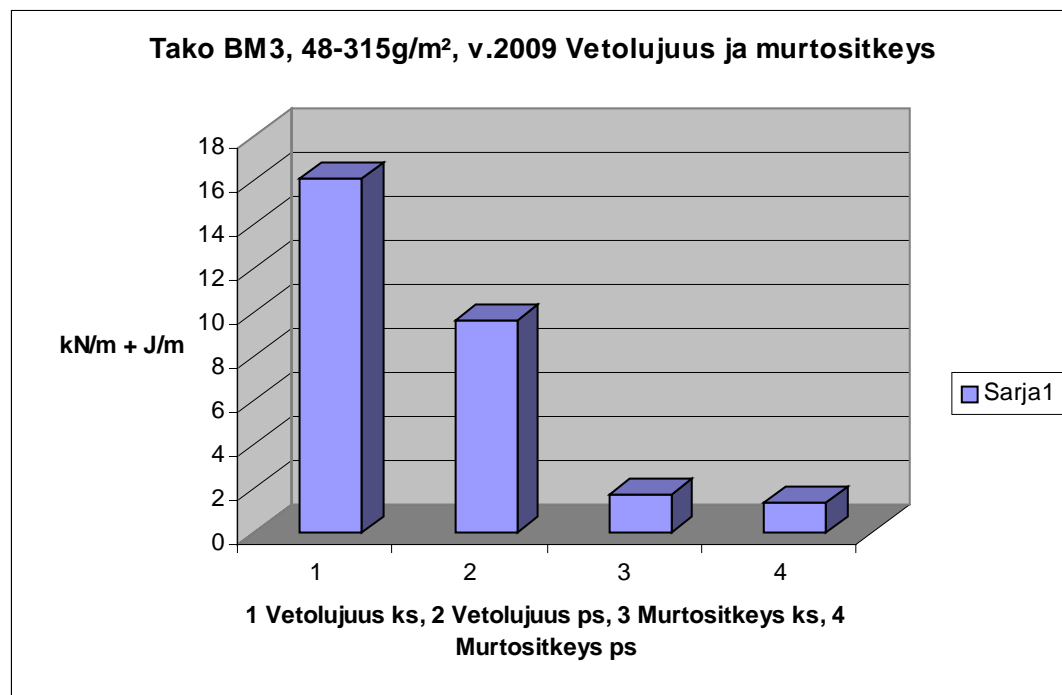
Vetolujuuksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 9.65 kN/m

Kone- ja poikkisuuntaisten lujuuksien suhde: 1.67

Murtositkeyksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 1.739 J/m

Murtositkeyksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 1.323 J/m

Kone- ja poikkisuuntaisten sitkeyksien suhde: 1.31



Kuvio 43. Tako BM3 48-315g/m<sup>2</sup>, valmistettu v. 2009

**Tako BM1, 70-230 CX**

Vetolujuuksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 12.82 kN/m

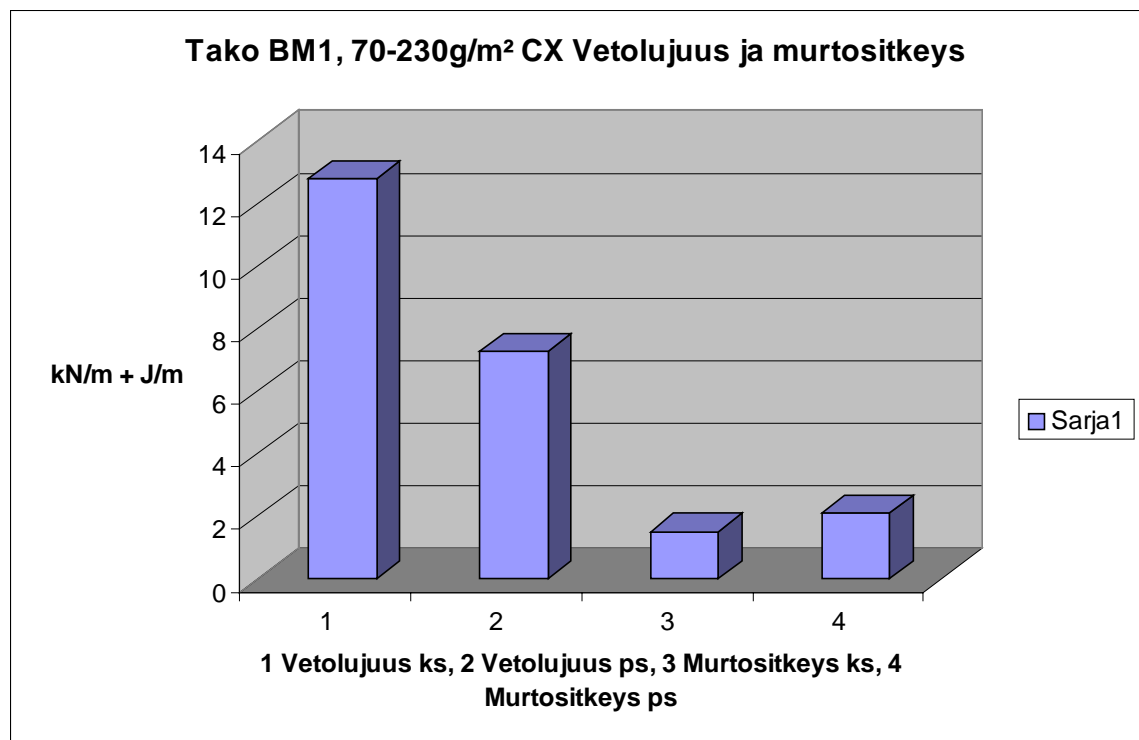
Vetolujuuksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 7.27 kN/m

Kone- ja poikkisuuntaisten lujuuksien suhde: 1.76

Murtositkeyksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 1.520 J/m

Murtositkeyksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 2.114 J/m

Kone- ja poikkisuuntaisten sitkeyksien suhde: 0.72



Kuvio 44. Tako BM1, 70-230 CX

**Tako BM3, 25-200 CX Lite**

Vetolujuuksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 14.63 kN/m

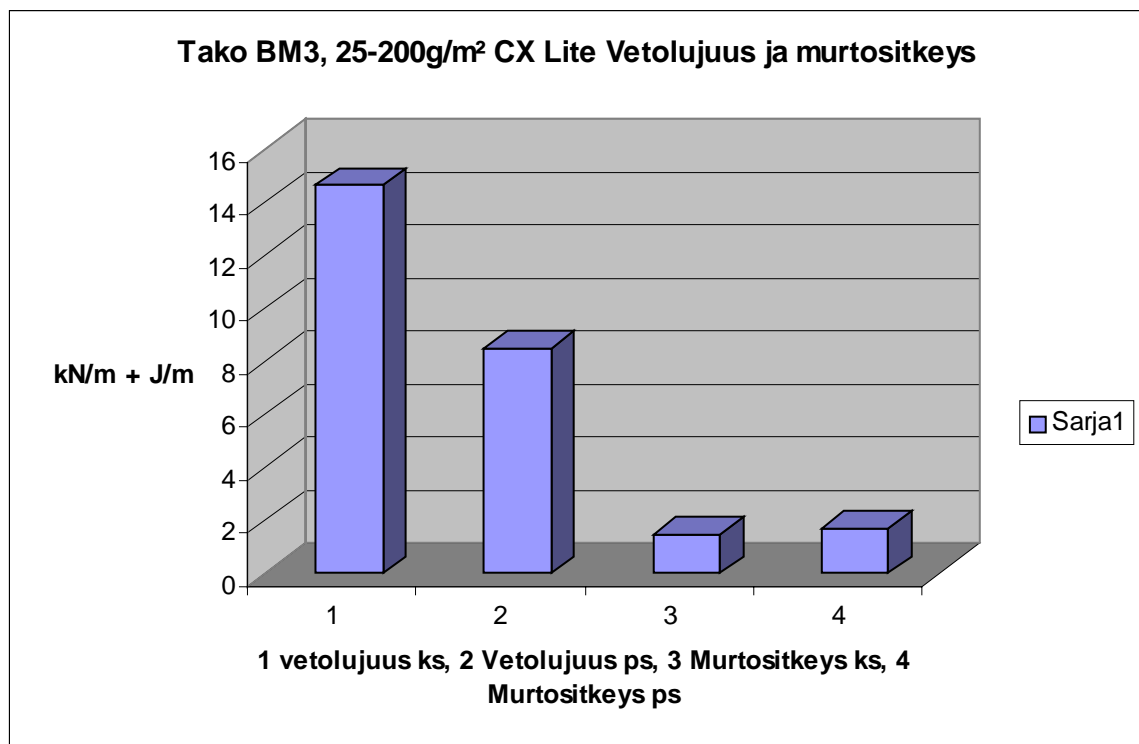
Vetolujuuksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 8.48 kN/m

Kone- ja poikkisuuntaisten lujuuksien suhde: 1.73

Murtositkeyksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 1.477 J/m

Murtositkeyksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 1.726 J/m

Kone- ja poikkisuuntaisten sitkeyksien suhde: 0.86



Kuvio 45. Tako BM3, 25-200 CX Lite

**Tako BM1, 77-225g/m<sup>2</sup> CX White S.**

Vetolujuuksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 13.62 kN/m

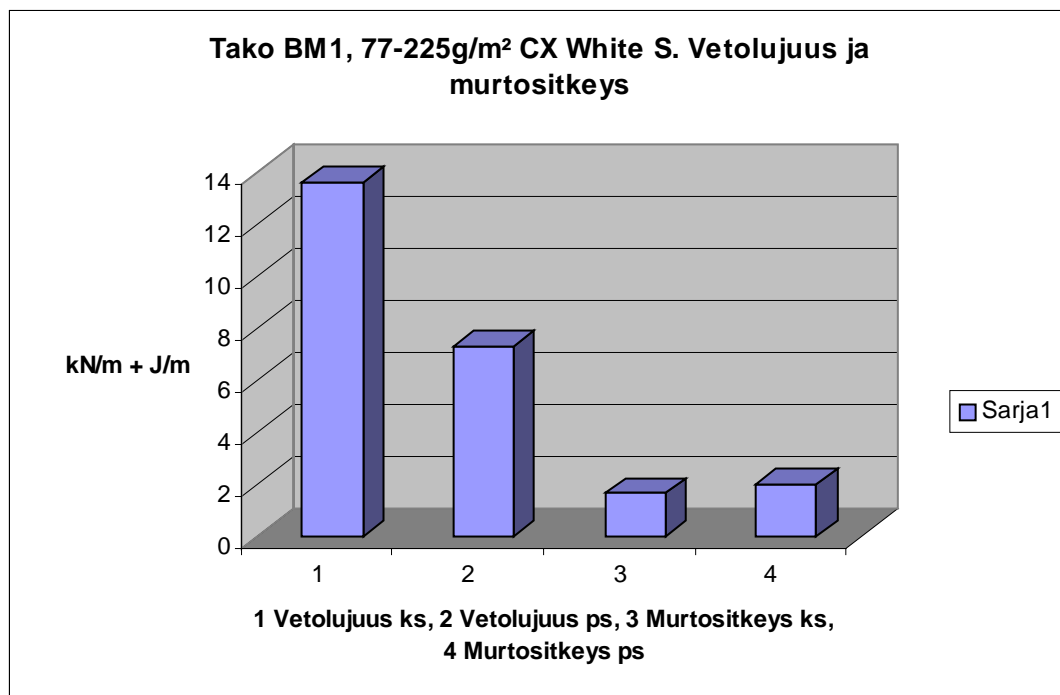
Vetolujuuksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 7.32 kN/m

Kone- ja poikkisuuntaisten lujuuksien suhde: 1.86

Murtositkeyksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 1.637 J/m

Murtositkeyksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 1.975 J/m

Kone- ja poikkisuuntaisten sitkeyksien suhde: 0.83



Kuvio 46. Tako BM1, 77-225g/m<sup>2</sup> CX White S



**Tako BM3, 48-315g/m<sup>2</sup>, valmistettu v. 2007.**

Vetolujuuksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 16.61 kN/m

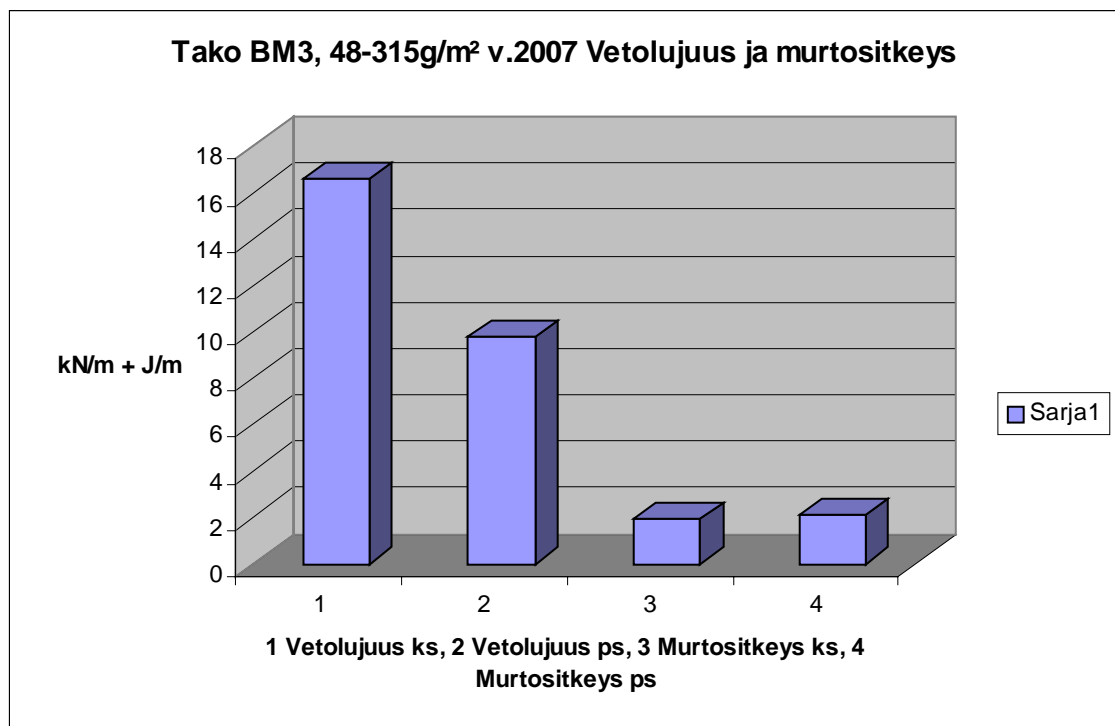
Vetolujuuksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 9.79 kN/m

Kone- ja poikkisuuntaisten lujuuksien suhde: 1.70

Murtositkeyksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 1.933 J/m

Murtositkeyksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 2.097 J/m

Kone- ja poikkisuuntaisten sitkeyksien suhde: 0.92



Kuvio 47. Tako BM3, 48-315g/m<sup>2</sup>, valmistettu v. 2007

**Tako BM3, 48-315g/m<sup>2</sup>, valmistettu v. 2007.**

Vetolujuuksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 13.30 kN/m

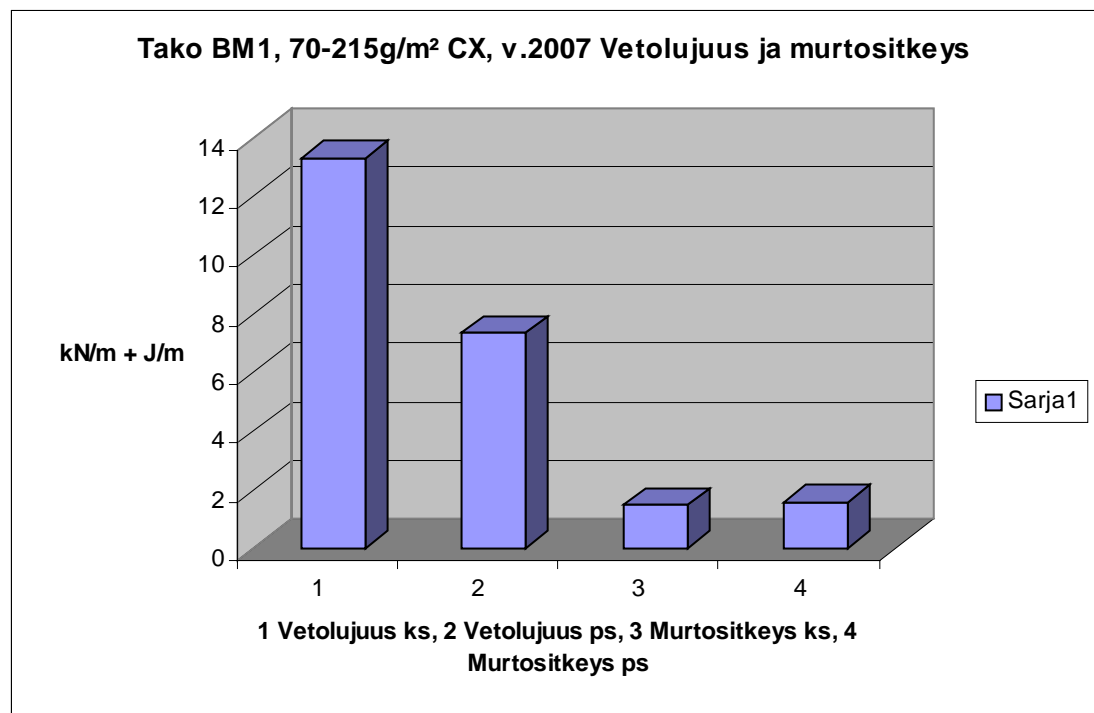
Vetolujuuksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 7.34 kN/m

Kone- ja poikkisuuntaisten lujuuksien suhde: 1.81

Murtositkeyksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 1.472 J/m

Murtositkeyksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 1.574 J/m

Kone- ja poikkisuuntaisten sitkeyksien suhde: 0.93



Kuvio 48. Tako BM3, 48-315g/m<sup>2</sup>, valmistettu v. 2007

**Tako BM1 70-215g/m<sup>2</sup> CX, valmistettu v. 2009.**

Vetolujuuksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 13.28 kN/m

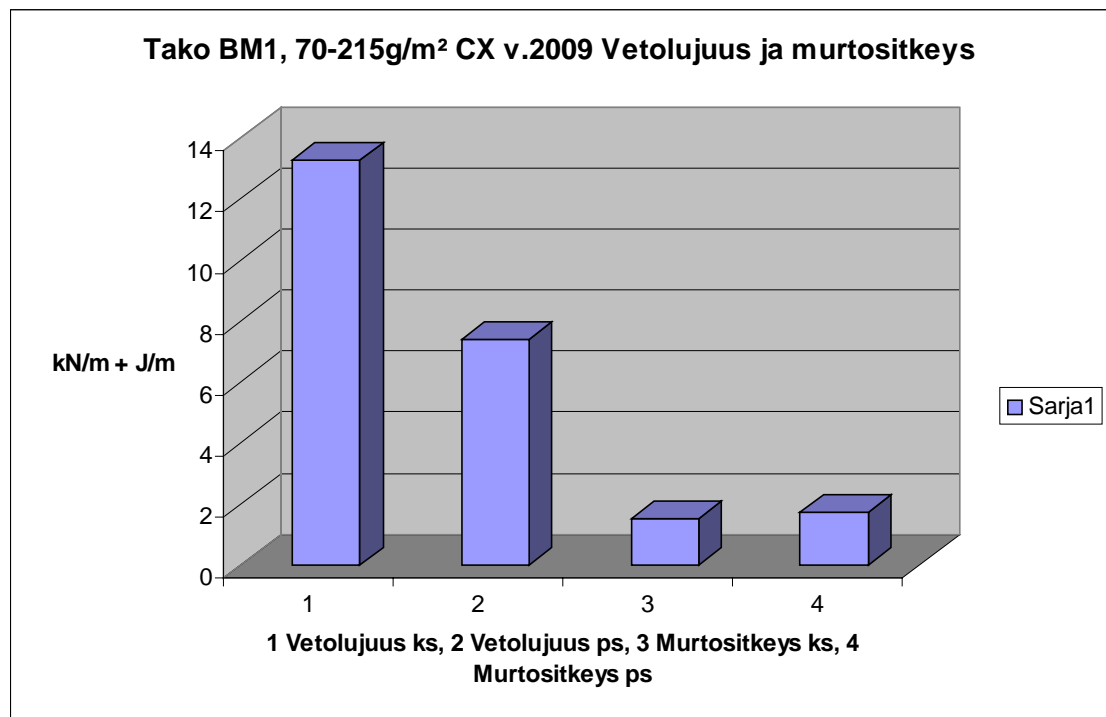
Vetolujuuksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 7.40 kN/m

Kone- ja poikkisuuntaisten lujuuksien suhde: 1.80

Murtositkeyksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 1.533 J/m

Murtositkeyksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 1.745 J/m

Kone- ja poikkisuuntaisten sitkeyksien suhde: 0.88



Kuvio 49. Tako BM1 70-215g/m<sup>2</sup> CX, valmistettu v. 2009

**Tako BM1, 77-215g/m<sup>2</sup> CX White S. päällystämätön**

Vetolujuuksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 11.48 kN/m

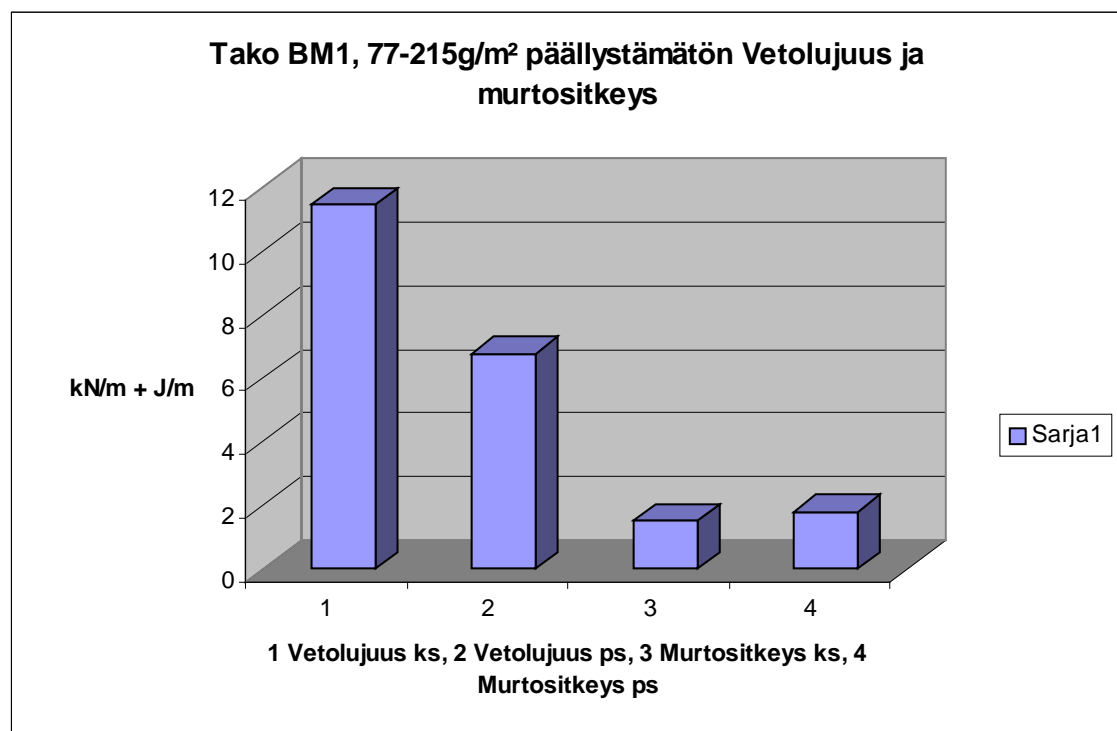
Vetolujuuksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 6.79 kN/m

Kone- ja poikkisuuntaisten lujuuksien suhde: 1.69

Murtositkeyksien keskiarvo, xa konesuuntaan: 1.527 J/m

Murtositkeyksien keskiarvo, xa poikkisuuntaan: 1.803 J/m

Kone- ja poikkisuuntaisten sitkeyksien suhde: 0.85



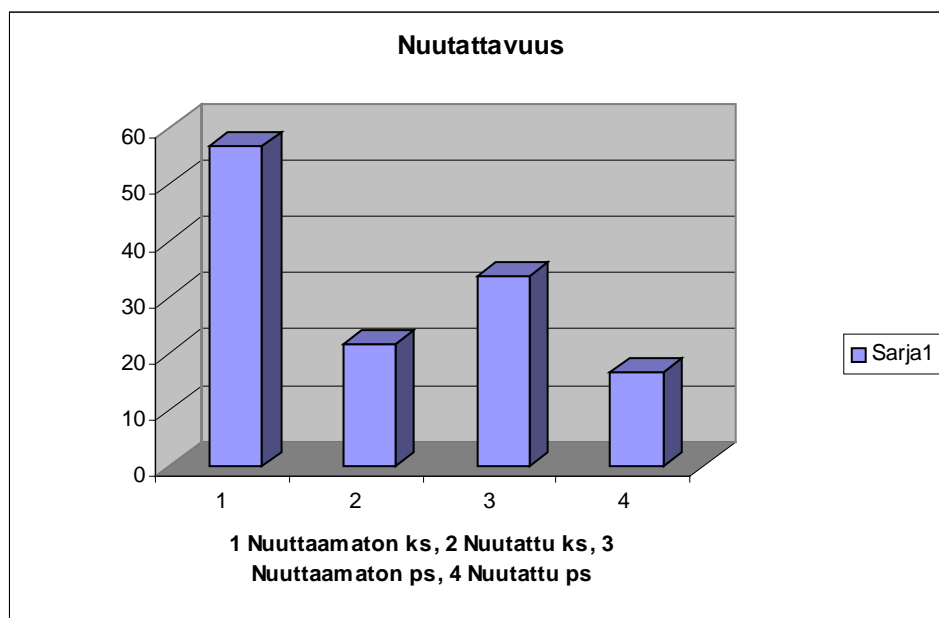
Kuvio 50. Tako BM1, 77-215g/m<sup>2</sup> CX White S. päällystämätön

## Nuutattavuus

Testattavien näytteiden taivuttamista vastustava voima, eli nuutattavuus on määritetty mittaamalla ensin 10 kpl sarja nuuttamattomille näytepaloille 38\*80mm. Sen jälkeen mitattiin nuutatut näytepalat, jotka taistuivat nuutin kohdalta pienemmällä voimalla. Sarjat mitattiin sekä kone- että poikkisuuntaan.

### StoraEnso 255g/m<sup>2</sup> PE nestepakkauskartonki

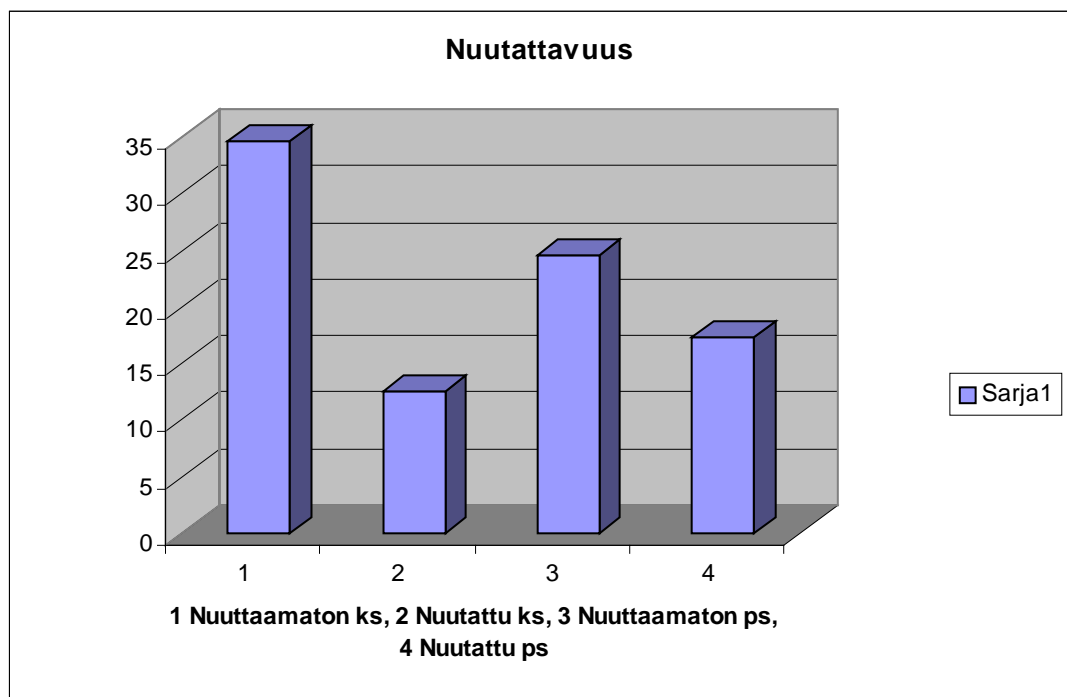
Nuuttaamattomien näytteiden sarjan keskiarvo, xa konesuuntaan:	56.8
Nuutattujen näytteiden sarjan keskiarvo, xa konesuuntaan:	21.6
Nuuttaamattoman sarjan suhde nuutattuun sarjaan:	$56.8 / 21.6 = 2.63$
Nuuttaamattomien näytteiden sarjan keskiarvo, xa poikkisuuntaan:	33.6
Nuutattujen näytteiden sarjan keskiarvo, xa poikkisuuntaan:	16.6
Nuuttaamattoman sarjan suhde nuutattuun sarjaan:	$33.6 / 16.6 = 2.02$



Kuvio 51. StoraEnso 255g/m<sup>2</sup> PE nestepakkauskartonki

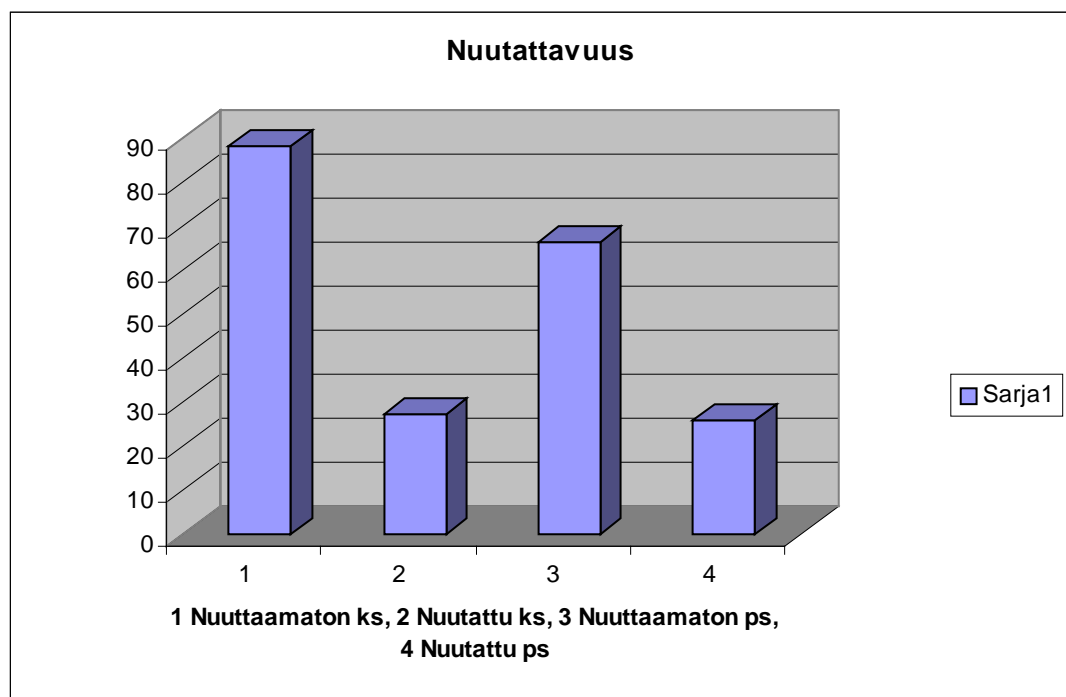
**Tako BM1 25-200g/m<sup>2</sup> CX Lite**

Nuuttaamattomien näytteiden sarjan keskiarvo, $\alpha$ konesuuntaan:	34.6
Nuutattujen näytteiden sarjan keskiarvo, $\alpha$ konesuuntaan:	12.6
Nuuttaamattoman sarjan suhde nuutattuun sarjaan:	$34.6 / 12.6 = 2.54$
Nuuttaamattomien näytteiden sarjan keskiarvo, $\alpha$ poikkisuuntaan:	24.6
Nuutattujen näytteiden sarjan keskiarvo, $\alpha$ poikkisuuntaan:	17.4
Nuuttaamattoman sarjan suhde nuutattuun sarjaan:	$24.6 / 17.4 = 1.41$

Kuvio 52. Tako BM1 25-200g/m<sup>2</sup> CX Lite

**Tako BM3 48-315g/m<sup>2</sup> valmistettu vuonna 2009**

Nuuttaamattomien näytteiden sarjan keskiarvo, $\bar{x}$ a konesuuntaan:	88.2
Nuutattujen näytteiden sarjan keskiarvo, $\bar{x}$ a konesuuntaan:	27.4
Nuuttaamattoman sarjan suhde nuutattuun sarjaan:	$88.2 / 27.4 = 3.22$
Nuuttaamattomien näytteiden sarjan keskiarvo, $\bar{x}$ a poikkisuuntaan:	66.3
Nuutattujen näytteiden sarjan keskiarvo, $\bar{x}$ a poikkisuuntaan:	25.8
Nuuttaamattoman sarjan suhde nuutattuun sarjaan:	$66.3 / 25.8 = 2.60$

Kuvio 53. Tako BM3 48-315g/m<sup>2</sup> valmistettu vuonna 2009

**Tako 70-230g/m<sup>2</sup> CX**

Nuuttaamattomien näytteiden sarjan keskiarvo,  $x_a$  konesuuntaan: 41.5

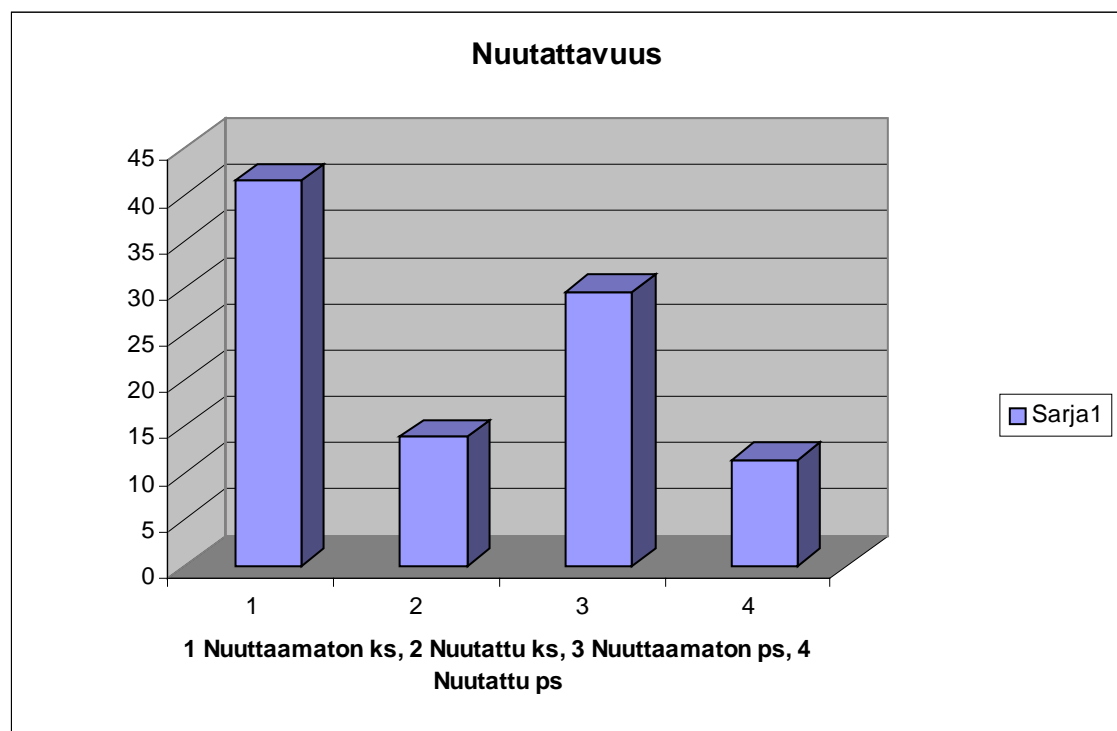
Nuutattujen näytteiden sarjan keskiarvo,  $x_a$  konesuuntaan: 13.9

Nuuttaamattoman sarjan suhde nuutattuun sarjaan:  $41.5 / 13.9 = 2.98$

Nuuttaamattomien näytteiden sarjan keskiarvo,  $x_a$  poikkisuuntaan: 29.5

Nuutattujen näytteiden sarjan keskiarvo,  $x_a$  poikkisuuntaan: 11.4

Nuuttaamattoman sarjan suhde nuutattuun sarjaan:  $29.5 / 11.4 = 2.59$

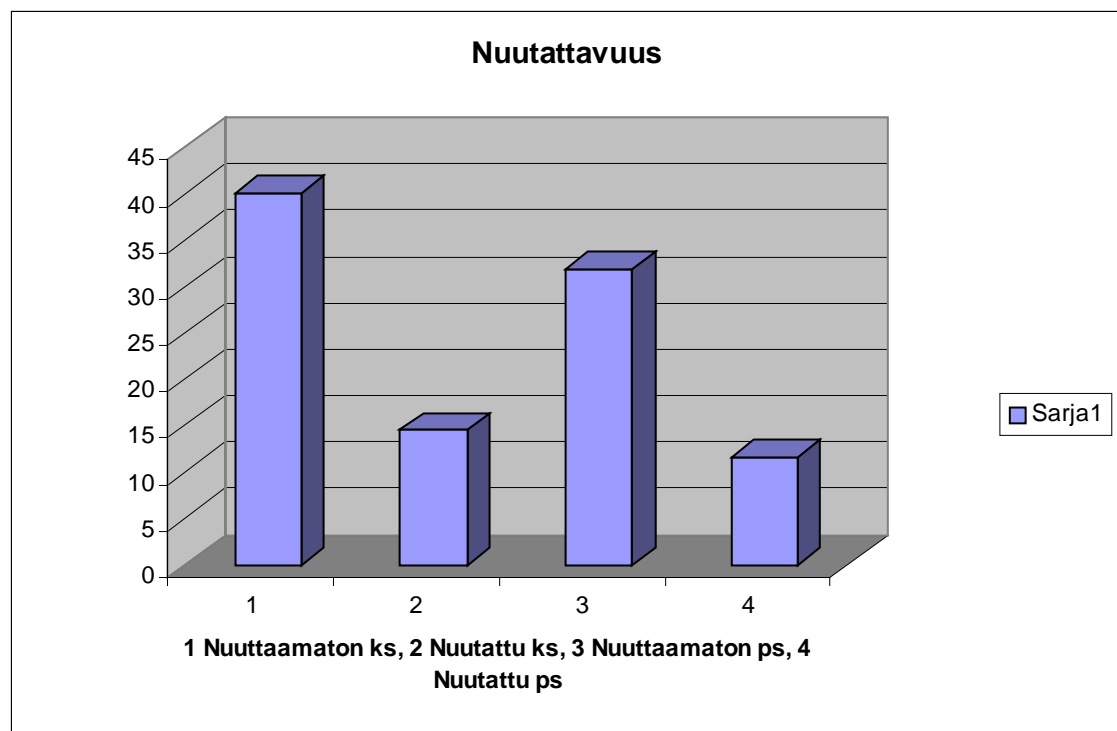


Kuvio 54. Tako 70-230g/m<sup>2</sup> CX



**Tako BM3 25-200g/m<sup>2</sup> CX Lite**

Nuuttaamattomien näytteiden sarjan keskiarvo, $\alpha$ konesuuntaan:	40.1
Nuutattujen näytteiden sarjan keskiarvo, $\alpha$ konesuuntaan:	14.5
Nuuttaamattoman sarjan suhde nuutattuun sarjaan:	$40.1 / 14.5 = 2.77$
Nuuttaamattomien näytteiden sarjan keskiarvo, $\alpha$ poikkisuuntaan:	31.9
Nuutattujen näytteiden sarjan keskiarvo, $\alpha$ poikkisuuntaan:	11.6
Nuuttaamattoman sarjan suhde nuutattuun sarjaan:	$31.9 / 11.6 = 2.75$

Kuvio 55. Tako BM3 25-200g/m<sup>2</sup> CX Lite

**Tako BM1 77-225g/m<sup>2</sup> CX White S**

Nuuttaamattomien näytteiden sarjan keskiarvo,  $\alpha$  konesuuntaan: 41.6

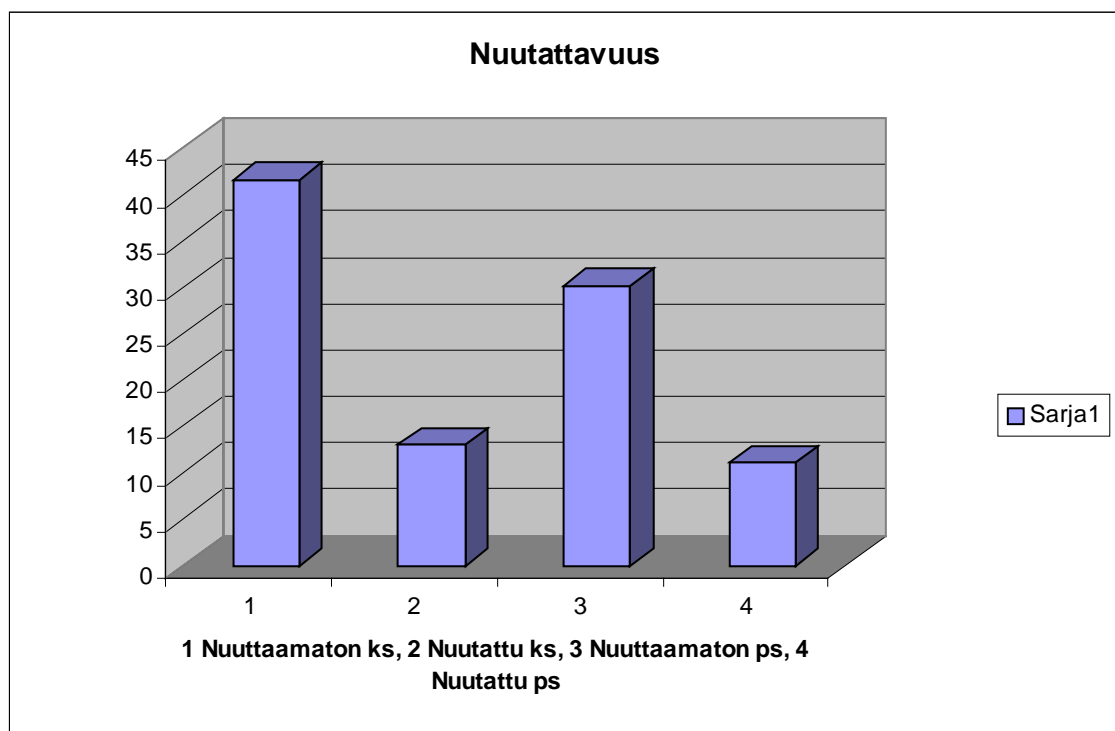
Nuutattujen näytteiden sarjan keskiarvo,  $\alpha$  konesuuntaan: 13.0

Nuuttaamattoman sarjan suhde nuutattuun sarjaan:  $41.6 / 13.0 = 3.20$

Nuuttaamattomien näytteiden sarjan keskiarvo,  $\alpha$  poikkisuuntaan: 30.1

Nuutattujen näytteiden sarjan keskiarvo,  $\alpha$  poikkisuuntaan: 11.1

Nuuttaamattoman sarjan suhde nuutattuun sarjaan:  $30.1 / 11.1 = 2.71$



Kuvio 56. Tako BM1 77-225g/m<sup>2</sup> CX White S

**Tako BM3 48-315g/m<sup>2</sup> valmistettu vuonna 2007**

Nuuttaamattomien näytteiden sarjan keskiarvo,  $\bar{x}$  konesuuntaan: 85.6

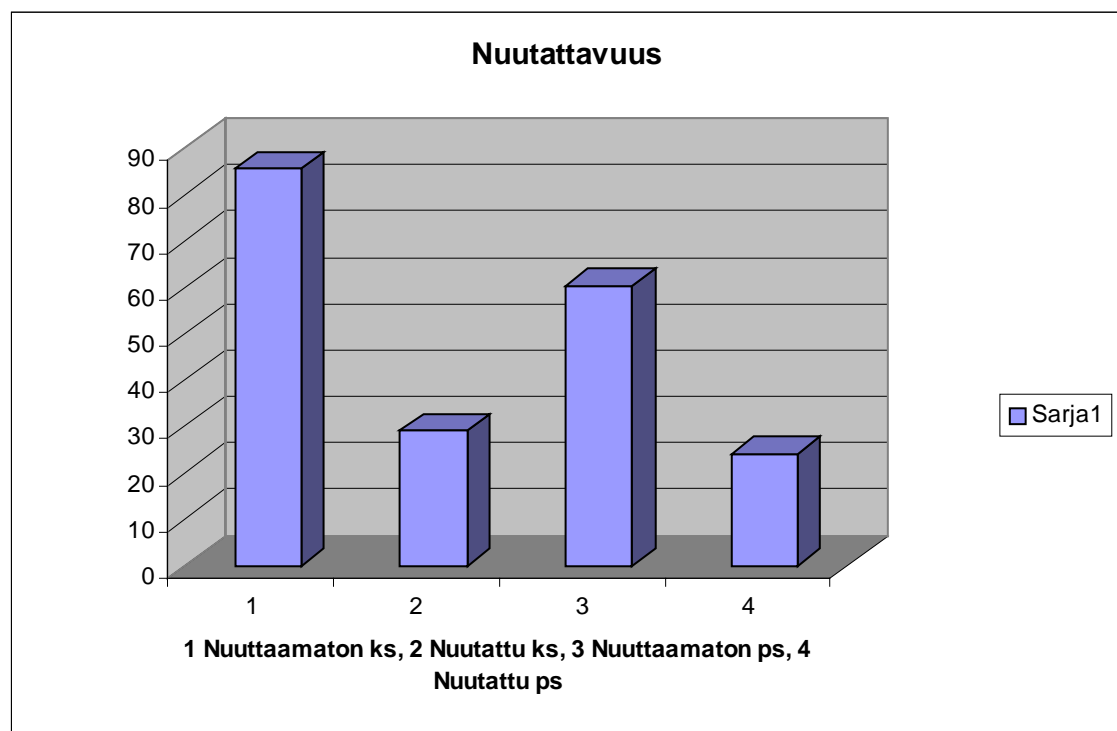
Nuutattujen näytteiden sarjan keskiarvo,  $\bar{x}$  konesuuntaan: 29.0

Nuuttaamattoman sarjan suhde nuutattuun sarjaan:  $85.6 / 29.0 = 2.95$

Nuuttaamattomien näytteiden sarjan keskiarvo,  $\bar{x}$  poikkisuuntaan: 60.2

Nuutattujen näytteiden sarjan keskiarvo,  $\bar{x}$  poikkisuuntaan: 24.0

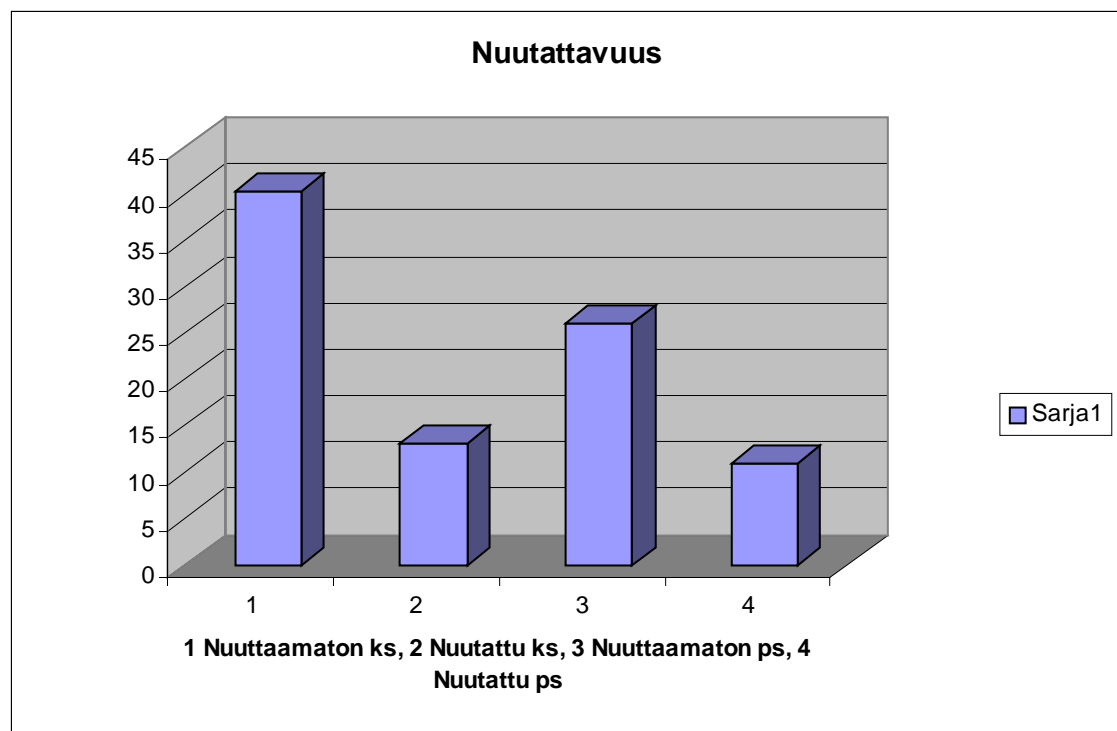
Nuuttaamattoman sarjan suhde nuutattuun sarjaan:  $60.2 / 24.0 = 2.51$



Kuvio 57. Tako BM3 48-315g/m<sup>2</sup> valmistettu vuonna 2007

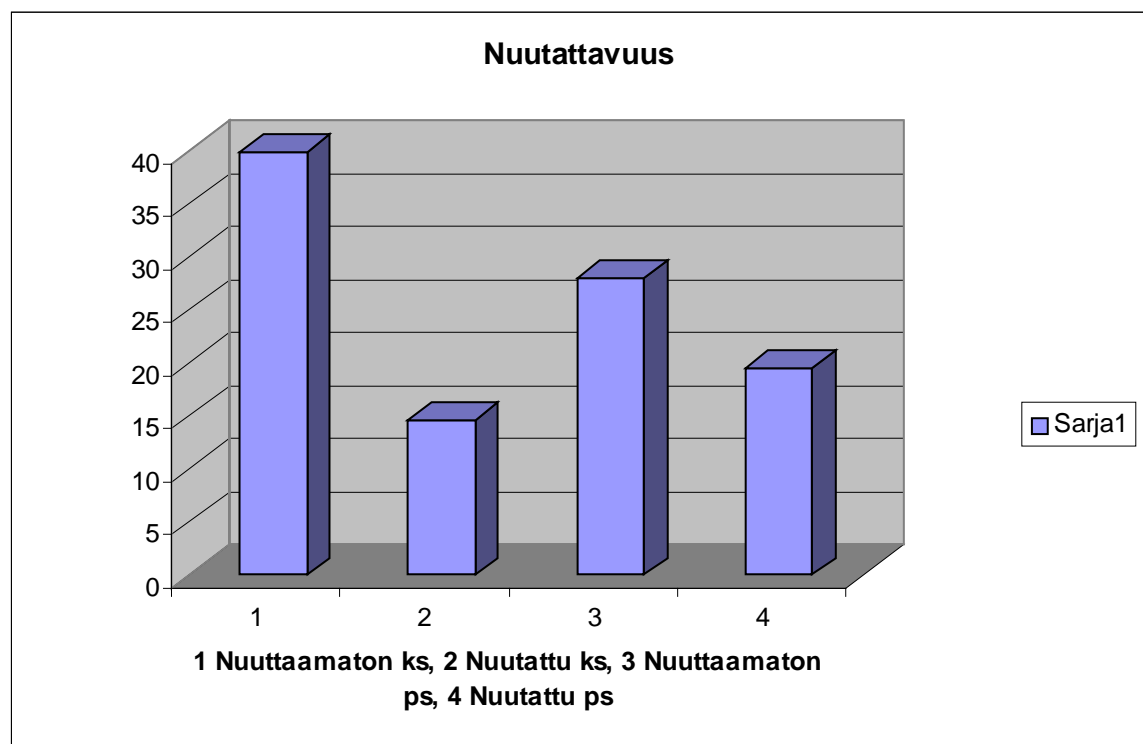
**Tako BM1 70-215g/m<sup>2</sup> CX valmistettu vuonna 2007**

Nuuttaamattomien näytteiden sarjan keskiarvo, $\alpha$ konesuuntaan:	40.3
Nuutattujen näytteiden sarjan keskiarvo, $\alpha$ konesuuntaan:	13.1
Nuuttaamattoman sarjan suhde nuutattuun sarjaan:	$40.3 / 13.1 = 3.08$
Nuuttaamattomien näytteiden sarjan keskiarvo, $\alpha$ poikkisuuntaan:	26.1
Nuutattujen näytteiden sarjan keskiarvo, $\alpha$ poikkisuuntaan:	11.0
Nuuttaamattoman sarjan suhde nuutattuun sarjaan:	$26.1 / 11.0 = 2.37$

Kuvio 58. Tako BM1 70-215g/m<sup>2</sup> CX valmistettu vuonna 2007

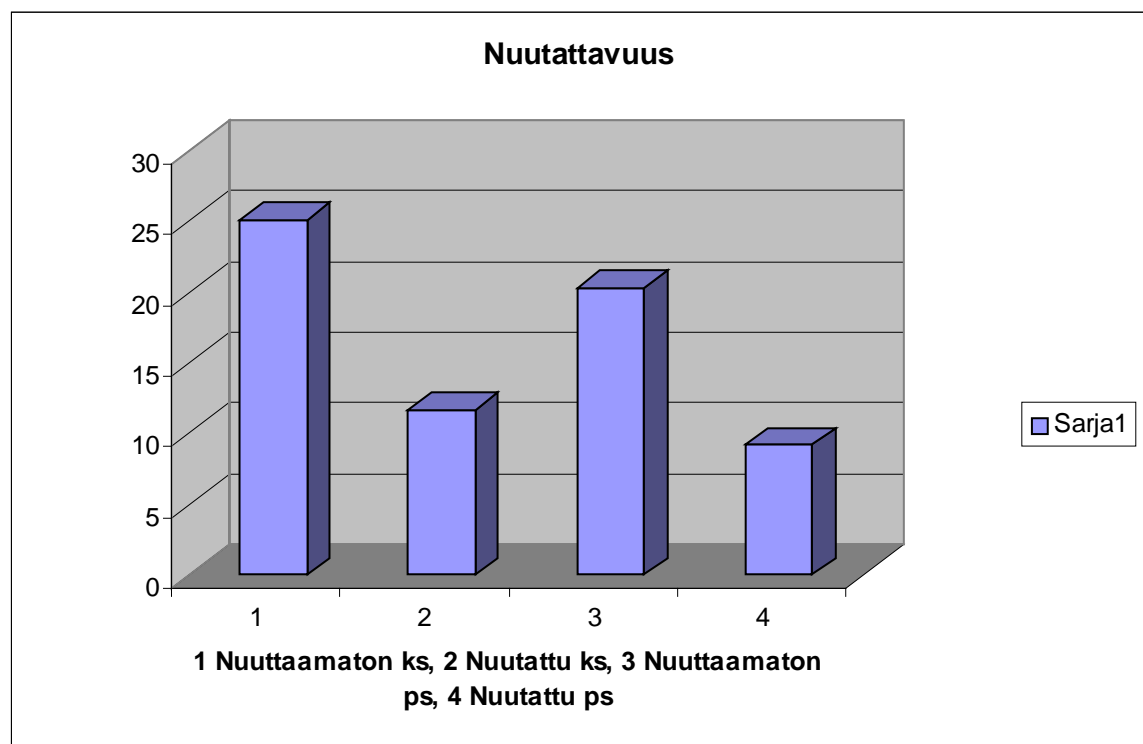
**Tako BM1 70-215g/m<sup>2</sup> CX valmistettu vuonna 2009**

Nuuttaamattomien näytteiden sarjan keskiarvo, $\bar{x}_a$ konesuuntaan:	39.9
Nuutattujen näytteiden sarjan keskiarvo, $\bar{x}_a$ konesuuntaan:	14.6
Nuuttaamattoman sarjan suhde nuutattuun sarjaan:	$39.9 / 14.6 = 2.73$
Nuuttaamattomien näytteiden sarjan keskiarvo, $\bar{x}_a$ poikkisuuntaan:	28.0
Nuutattujen näytteiden sarjan keskiarvo, $\bar{x}_a$ poikkisuuntaan:	19.5
Nuuttaamattoman sarjan suhde nuutattuun sarjaan:	$28.0 / 19.5 = 1.44$

Kuvio 59. Tako BM1 70-215g/m<sup>2</sup> CX valmistettu vuonna 2009

**Tako BM1 77-215g/m<sup>2</sup> CX White S päällystämätön**

Nuuttaamattomien näytteiden sarjan keskiarvo, $\bar{x}$ a konesuuntaan:	25.1
Nuutattujen näytteiden sarjan keskiarvo, $\bar{x}$ a konesuuntaan:	11.7
Nuuttaamattoman sarjan suhde nuutattuun sarjaan:	$25.1 / 11.7 = 2.15$
Nuuttaamattomien näytteiden sarjan keskiarvo, $\bar{x}$ a poikkisuuntaan:	20.3
Nuutattujen näytteiden sarjan keskiarvo, $\bar{x}$ a poikkisuuntaan:	9.2
Nuuttaamattoman sarjan suhde nuutattuun sarjaan:	$20.3 / 9.2 = 2.21$

Kuvio 60. Tako BM1 77-215g/m<sup>2</sup> CX White S päällystämätön

**Joustavuus ja palautuma**

Kartongin nuuttauksesta taiton jälkeinen takaisinjoustavuus ja kartongin käyttäytyminen määritetty: taittamalla nuutattu 20mm leveä testikappale 180° ja mittaamalla takaisin ponnahtama 60 sekunnin kuluttua taitosta. Tässä yhteydessä on arvioitu kuinka nopeasti kartonki saavuttaa lopullisen kulman johon se jää. Toisessa vaiheessa saman lajin näyte on taivutettu 90° ja mitattu kuinka paljon taittuma palautuu. Mitatut sarjat olivat 5 kpl jokaisesta näytelajista. Näytteille tehtiin 100 auki-kiinni taittoa, tämän jälkeen arvioitiin visuaalisesti pinnankesto, pysyikö pinta ehjänä vai syntyikö murtuma.

**StoraEnso 255g/m<sup>2</sup> PE nestepakkauskartonki**

Palautuma 180° taitosta konesuuntaan: 67°, 67°, 68°, 69°, 67° > keskiarvo: 68°

Palautuma 90° taitosta konesuuntaan: 32°, 33°, 32°, 33°, 34° > keskiarvo 33°

Palautuma 180° taitosta poikkisuuntaan: 68°, 72°, 69°, 70°, 71° > keskiarvo 70°

Palautuma 90° taitosta poikkisuuntaan: 40°, 42°, 43°, 43°, 42° > keskiarvo 42°

Näyte joustavaa, palautuu nopeasti taittamisen jälkeen. Pysyy ehjänä toistuvassa 100 kerran taittelukokeessa.

**Tako BM1 25-200g/m<sup>2</sup> CX Lite**

Palautuma 180° taitosta konesuuntaan: 75°, 77°, 78°, 74°, 79° > keskiarvo: 77°

Palautuma 90° taitosta konesuuntaan: 36°, 37°, 33°, 38°, 39° > keskiarvo 37°

Palautuma 180° taitosta poikkisuuntaan: 66°, 70°, 66°, 69°, 74° > keskiarvo 69°

Palautuma 90° taitosta poikkisuuntaan: 26°, 22°, 24°, 26°, 25° > keskiarvo 25°

Näyte ryhditöntä, palautuu hitaasti taittamisen jälkeen. Oikenee ps lähes takaisin.

Pysyy ehjänä toistuvassa 100 kerran taittelukokeessa.

**Tako BM3 48-315g/m<sup>2</sup>, valmistettu v. 2009**

Palautuma 180° taitosta konesuuntaan: 72°, 74°, 78°, 75°, 80° > keskiarvo: 78°

Palautuma 90° taitosta konesuuntaan: 26°, 31°, 28°, 29°, 32° > keskiarvo 29°

Palautuma 180° taitosta poikkisuuntaan: 68°, 73°, 72°, 71°, 70° > keskiarvo 71°

Palautuma 90° taitosta poikkisuuntaan: 36°, 39°, 38°, 35°, 37° > keskiarvo 37°

Näyte epäelastinen, palautuu nopeasti taittamisen jälkeen ja jää asentoonsa.

Pysyy ehjänä toistuvassa 100 kerran taittelukokeessa.

**Tako BM1 70-230g/m<sup>2</sup> CX**

Palautuma 180° taitosta konesuuntaan: 81°, 81°, 78°, 80°, 82° > keskiarvo: 80°

Palautuma 90° taitosta konesuuntaan: 39°, 41°, 42°, 40°, 39° > keskiarvo 40°

Palautuma 180° taitosta poikkisuuntaan: 76°, 74°, 73°, 75°, 74° > keskiarvo 75°

Palautuma 90° taitosta poikkisuuntaan: 27°, 24°, 22°, 23°, 24° > keskiarvo 24°

Näyte elastinen, palautuu hitaasti taittamisen jälkeen. Oikenee lähes koko 60s takaisinpäin. Poikkisuuntaan palautuu voimakkaasti. Iso ero 90° ja 180° taiton välillä.

Pysyy ehjänä toistuvassa 100 kerran taittelukokeessa.

**Tako BM3 25-200g/m<sup>2</sup> CX Lite**

Palautuma 180° taitosta konesuuntaan: 73°, 72°, 76°, 77°, 77° > keskiarvo: 75°

Palautuma 90° taitosta konesuuntaan: 33°, 36°, 34°, 34°, 37° > keskiarvo 35°

Palautuma 180° taitosta poikkisuuntaan: 67°, 71°, 68°, 68°, 71° > keskiarvo 69°

Palautuma 90° taitosta poikkisuuntaan: 24°, 24°, 23°, 25°, 25° > keskiarvo 24°

Näyte lepsua, palautuu pitkään taittamisen jälkeen. Poikkisuuntaan voimakas

palautuma. Pysyy ehjänä toistuvassa 100 kerran taittelukokeessa.



**Tako BM1 77-225g/m<sup>2</sup> CX White S**

Palautuma 180° taitosta konesuuntaan: 87°, 86°, 84°, 88°, 89° > keskiarvo: 87°

Palautuma 90° taitosta konesuuntaan: 44°, 46°, 43°, 42°, 44° > keskiarvo 44°

Palautuma 180° taitosta poikkisuuntaan: 78°, 78°, 80°, 81°, 83° > keskiarvo 81°

Palautuma 90° taitosta poikkisuuntaan: 38°, 37°, 40°, 42°, 40° > keskiarvo 40°

Näyte epäelastinen, palautuu nopeasti taittamisen jälkeen ja jää heti asentoonsa.

Pysyy ehjänä toistuvassa 100 kerran taittelukokeessa.

**Tako BM3 48-315g/m<sup>2</sup>, valmistettu v. 2007**

Palautuma 180° taitosta konesuuntaan: 74°, 77°, 77°, 75°, 76° > keskiarvo: 76°

Palautuma 90° taitosta konesuuntaan: 48°, 50°, 51°, 52°, 52° > keskiarvo 51°

Palautuma 180° taitosta poikkisuuntaan: 70°, 70°, 68°, 71°, 70° > keskiarvo 70°

Palautuma 90° taitosta poikkisuuntaan: 44°, 43°, 44°, 41°, 43° > keskiarvo 43°

Näyte hyvin jäykkää, palautuu heti taittamisen jälkeen ja jää voimakkaasti asentoonsa. Pysyy ehjänä toistuvassa 100 kerran taittelukokeessa. Taittaessa 180° kuulee ja tuntee selvästi kuinka kuivaneen kartongin rakenne rikkoutuu/palstautuu. Palautuu huomattavasti muita kartonkeja vähemmän, varsinkin konesuuntaan.

**Tako BM1 70-215g/m<sup>2</sup> CX, valmistettu v. 2007**

Palautuma 180° taitosta konesuuntaan: 88°, 93°, 92°, 91°, 90° > keskiarvo: 91°

Palautuma 90° taitosta konesuuntaan: 47°, 47°, 49°, 50°, 49° > keskiarvo 48°

Palautuma 180° taitosta poikkisuuntaan: 84°, 88°, 87°, 85°, 86° > keskiarvo 87°

Palautuma 90° taitosta poikkisuuntaan: 43°, 43°, 44°, 46°, 43° > keskiarvo 44°

Näyte jäntevän tuntuista. Palautuu nopeasti taittamisen jälkeen ja jää asentoonsa.

Oikenee heikosti takaisin. Taitettaessa 180° tuntuu narahdus rakenteen murtuessa.

Pysyy ehjänä toistuvassa 100 kerran taittelukokeessa.

**Tako BM1 70-215g/m<sup>2</sup> CX, valmistettu v.2009**

Palautuma 180° taitosta konesuuntaan: 83°, 85°, 86°, 83°, 84° > keskiarvo: 84°

Palautuma 90° taitosta konesuuntaan: 43°, 43°, 46°, 44°, 44° > keskiarvo 44°

Palautuma 180° taitosta poikkisuuntaan: 80°, 84°, 82°, 82°, 83° > keskiarvo 83°

Palautuma 90° taitosta poikkisuuntaan: 39°, 43°, 42°, 43°, 42° > keskiarvo 42°

Näyte elastista. Palautuu hitaasti taittamisen jälkeen ja oikenee lähes koko 60s. ajan.

Pysyy ehjänä toistuvassa 100 kerran taittelukokeessa.

**Tako BM1 77-215g/m<sup>2</sup> CX White S, päällystämätön**

Palautuma 180° taitosta konesuuntaan: 94°, 97°, 98°, 98°, 97° > keskiarvo: 97°

Palautuma 90° taitosta konesuuntaan: 57°, 55°, 56°, 58°, 56° > keskiarvo 56°

Palautuma 180° taitosta poikkisuuntaan: 95°, 98°, 99°, 93°, 94° > keskiarvo 96°

Palautuma 90° taitosta poikkisuuntaan: 54°, 53°, 56°, 55°, 55° > keskiarvo 55°

Näyte epäelastinen, palautuu nopeasti taittamisen jälkeen ja jää heti asentoonsa, mutta palautuu heikosti. Pysyy ehjänä toistuvassa 100 kerran taittelukokeessa, mutta löystyy niin että ryhti katoaa taittelun toistuttua 10-15 kertaa.

**Kokoonpuristuvuus**

Kokoonpuristuvuutta määritettäessä Lorentzen&Wettren Bendtsen -karheusmittari määrittää kartongin pinnan kokoonpuristuvuuden. Se mittaa ensin ilman ohivirtauksen yksinkertaisella mittapään paineella. Seuraavaksi mittapää painaa viisinkertaisella voimalla ensimmäiseen mittaukseen verrattuna, määrittäen ilman ohivirtausten eroista kartongin kokoonpuristuvuuden. Tuloksista havaitaan että, tämä kappale työn kokeellisessa osuudessa ei antanut luotettavia tuloksia. Päällystetty taivekartonki on liian tiivistä ja kiiltävää, että se kokoonpuristuvuutta voitaisiin määrittää L&Wn Bendtsen karheus –mittarilla.

**StoraEnso 255g/m<sup>2</sup> PE nestepakkauskartonki**

Ilmanvirtaus aloituspaineella, 20. mittauksen keskiarvo xa: 395 ml/min

Ilmanvirtaus korotetulla viisinkertaisella mittapään paineella, xa: 212 ml/min

**Tako BM1 25-200g/m<sup>2</sup> CX Lite**

Ilmanvirtaus aloituspaineella, 20. mittauksen keskiarvo xa: 8 ml/min

Ilmanvirtaus korotetulla viisinkertaisella mittapään paineella, xa: 0 ml/min

**Tako BM3 48-315g/m<sup>2</sup> valmistettu v. 2009**

Ilmanvirtaus aloituspaineella, 20. mittauksen keskiarvo xa: 5 ml/min

Ilmanvirtaus korotetulla viisinkertaisella mittapään paineella, xa: 0 ml/min

**Tako BM1 70-230g/m<sup>2</sup> CX**

Ilmanvirtaus aloituspaineella, 20. mittauksen keskiarvo xa: 9 ml/min

Ilmanvirtaus korotetulla viisinkertaisella mittapään paineella, xa: 0 ml/min

**Tako BM3 25-200g/m<sup>2</sup> CX Lite**

Ilmanvirtaus aloituspaineella, 20. mittauksen keskiarvo xa: 8 ml/min

Ilmanvirtaus korotetulla viisinkertaisella mittapään paineella, xa: 0 ml/min

**Tako BM1 77-225g/m<sup>2</sup> CX White S**

Ilmanvirtaus aloituspaineella, 20. mittauksen keskiarvo xa: 10 ml/min

Ilmanvirtaus korotetulla viisinkertaisella mittapään paineella, xa: 0 ml/min

**Tako BM3 48-315g/m<sup>2</sup> valmistettu v. 2007**

Ilmanvirtaus aloituspaineella, 20. mittauksen keskiarvo xa: 7 ml/min

Ilmanvirtaus korotetulla viisinkertaisella mittapään paineella, xa: 1 ml/min

**Tako BM1 70-215g/m<sup>2</sup> valmistettu v. 2007**

Ilmanvirtaus aloituspaineella, 20. mittauksen keskiarvo xa: 5 ml/min

Ilmanvirtaus korotetulla viisinkertaisella mittapään paineella, xa: 0 ml/min

**Tako BM1 70-215g/m<sup>2</sup> valmistettu v. 2009**

Ilmanvirtaus aloituspaineella, 20. mittauksen keskiarvo xa: 13 ml/min

Ilmanvirtaus korotetulla viisinkertaisella mittapään paineella, xa: 0 ml/min

**Tako BM1 77-215g/m<sup>2</sup> CX White S päällystämätön**

Ilmanvirtaus aloituspaineella, 20. mittauksen keskiarvo xa: 150 ml/min

Ilmanvirtaus korotetulla viisinkertaisella mittapään paineella, xa: 98 ml/min